

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Návrh řízení čerpací stanice pitné vody
Design of Water Pump Station Controlling

2016

Bc. Petr Endryáš

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Endryáš**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2612T015 Elektronika

Téma: **Návrh řízení čerpací stanice pitné vody**
Design of Water Pump Station Controlling

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu možností řízení vodárenských soustav pro čerpání pitné vody.
2. Navrhněte optimální variantu soustavy pro čerpání pitné vody v úpravně vody Nová Ves s využitím regulace otáček čerpadel.
3. Pro vybraná čerpadla navrhněte a dimenzujte pohon a navrhněte algoritmy pro optimální provoz čerpadel v souběhu.
4. Pro navržené řešení zpracujte projektovou dokumentaci.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Veselovský, J., Kroupa, M.: Základy tvorby technické dokumentace v elektrotechnice, ALFA, 1989
2. Dudáček, A.: Požárně bezpečnostní zařízení, VŠB-TU Ostrava, 1996
3. Martínek, Z.: Projektování elektroinstalací, skriptum ZČU, 1992

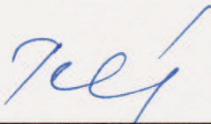
Další literatura dle pokynů vedoucího diplomové práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

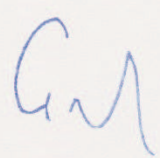
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



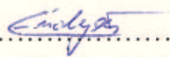
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty



Prohlášení studenta:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

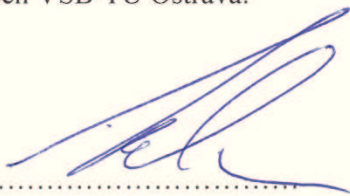
V Ostravě dne 29. 4. 2016


.....
Bc. Petr Endryáš

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby:

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

V Ostravě dne 20. 4. 2016


.....
Ing. Jan Vilím

Poděkování:

Pokládám za milou povinnost poděkovat prof. Ing. Petru Chlebišovi, CSc. z katedry elektroniky VŠB – TU Ostrava za vedení, podnětné rady a doporučení při tvorbě této diplomové práce.

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce je provést návrh řízení čerpací stanice pitné vody. V první části je uveden teoretický popis hydrodynamických čerpadel. Dále je provedena analýza možností řízení vodárenské soustavy pro čerpání pitné vody a návrh optimální soustavy pro čerpání pitné vody v úpravně vody Nová Ves v Ostravě s využitím regulace otáček čerpadel. Ve druhé části jsou pro tuto sestavu čerpadel navrženy a dimenzovány pohony, pro něž jsou navrženy algoritmy optimálního řízení. V závěrečné části práce je pro navrženou sestavu čerpadel zpracována projektová dokumentace.

Klíčová slova:

Analýza řízení, návrh řízení, čerpací stanice, vodárenská soustava, regulace otáček, hydrodynamické čerpadlo, algoritmus řízení, projektová dokumentace, ePLAN P8, AutoCAD

Abstract:

The aim of this thesis is to design water pump station controlling. The first part provides a theoretical description of hydrodynamic pumps. Furthermore, the analysis of control options of waterworks system for drinking water pumping and draft of an optimal system for this pumping in Nova Ves water treatment plant in Ostrava using speed regulation. The second part of this thesis is design and dimensions of drives for which are designed algorithms of optimal control. In the final part is designed project documentation for the assembly of pumps.

Keywords:

Analysis of control, design of control, pumping station, speed regulation, hydrodynamic pump, pump control algorithm, project documentation, ePLAN P8, AutoCAD

Seznam použitých symbolů a zkratek:

Zkratka	Jednotka	Popis
Q	$[l.s^{-1}]$	průtok
Q_1	$[l.s^{-1}]$	průtok při jmenovitých otáčkách
Q_2	$[l.s^{-1}]$	průtok při požadovaných otáčkách
Q_{M1}	$[l.s^{-1}]$	průtok čerpaný čerpadlem M1
Q_{M2}	$[l.s^{-1}]$	průtok čerpaný čerpadlem M2
Q_{M3}	$[l.s^{-1}]$	průtok čerpaný čerpadlem M3
H	$[m \text{ sl. k.}]$	dopravní výška
H_1	$[m \text{ sl. k.}]$	dopravní výška při jmenovitých otáčkách
H_2	$[m \text{ sl. k.}]$	dopravní výška při požadovaných otáčkách
h_s	$[m \text{ sl. k.}]$	statická výška
h_{dyn}	$[m \text{ sl. k.}]$	dynamická výška
n	$[l.s^{-1}]$	otáčky
n_1	$[l.s^{-1}]$	otáčky při jmenovitém kmitočtu
n_2	$[l.s^{-1}]$	otáčky při změně kmitočtu
f	$[Hz]$	kmitočet
f_{GW1}	$[Hz]$	kmitočet frekvenčního měniče GW1
f_{GW2}	$[Hz]$	kmitočet frekvenčního měniče GW2
f_{GS03}	$[Hz]$	kmitočet frekvenčního měniče GS03
s	$[1]$	skluz
p	$[1]$	počet pólů motoru
M	$[Nm]$	moment
M_k	$[Nm]$	krouticí moment
M_{k1}	$[Nm]$	krouticí moment při jmenovitých otáčkách
M_{k2}	$[Nm]$	krouticí moment při požadovaných otáčkách
E	$[kWh]$	spotřeba elektrické energie
E_{CELK}	$[kWh]$	celková spotřeba elektrické energie
E_m	$[J]$	mechanická energie
E_h	$[J]$	hydraulická energie
η	$[1]$	účinnost
η_1	$[1]$	účinnost při jmenovitých otáčkách
η_2	$[1]$	účinnost při požadovaných otáčkách
η_{opt}	$[1]$	účinnost při optimálních jmenovitých otáčkách
η_{min}	$[1]$	nejnižší přípustná účinnost

P	[W]	výkon frekvenčního měniče
P_1	[W]	příkon motoru
P_{mech}	[W]	mechanický výkon na hřídeli
P_u	[W]	hydraulický (užitečný) výkon
P_{GW1}	[W]	výkon frekvenčního měniče GW1
P_{GW2}	[W]	výkon frekvenčního měniče GW2
P_{GS03}	[W]	výkon frekvenčního měniče GS03
P_{CELK}	[W]	celkový výkon frekvenčních měničů
NPSH	[1]	tlaková ztráta sací části čerpadla
u_{Δ}	[V]	úbytek napětí
$u_{\Delta\text{dov}}$	[V]	dovolený úbytek napětí
ρ_{cu}	$[\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}]$	měrný odpor vodiče z mědi
l	[m]	délka
S	$[\text{mm}^2]$	průřez
U_s	[V]	sdružené napětí
$\cos\varphi$	[1]	účinník
ASŘ		automatizovaný systém řízení
IE		mezinárodní třída účinnosti
ÚV		úpravna vody
VDJ		vodojem
Y/D		zapojení hvězda/trojúhelník

Obsah

1. ÚVOD	11
2. ANALÝZA MOŽNOSTÍ ŘÍZENÍ VODÁRENSKÝCH SOUSTAV PRO ČERPÁNÍ PITNÉ VODY	12
2.1 Potřeba a spotřeba vody	12
2.2 Úpravna vody Ostrava - Nová Ves.....	13
2.2.1 Základní informace	13
2.2.2 Historický vývoj strojevny	14
2.3 Čerpadla	15
2.3.1 Úvod	15
2.3.2 Čerpací systém	15
2.3.3 Typy čerpadel	15
2.3.4 Hydrodynamická čerpadla.....	16
2.3.4.1 Typy hydrodynamických čerpadel.....	16
2.3.4.2 Hlavní parametry.....	17
2.3.4.3 Otáčky čerpadel.....	17
2.3.4.4 Účinnost čerpadel	18
2.3.4.5 Řízení výkonu a optimalizace provozu	18
3. NÁVRH OPTIMÁLNÍ SOUSTAVY ČERPÁNÍ PITNÉ VODY V ÚPRAVNĚ VODY OSTRAVA NOVÁ VES S VYUŽITÍM REGULACE OTÁČEK ČERPADEL	22
3.1 Současný stav soustavy čerpání pitné vody v ÚV Ostrava Nová Ves	22
3.1.1 Stávající čerpadla a jejich charakteristiky.....	23
3.1.2 Stávající pohony čerpadel a jejich frekvenční měniče	26
3.1.3 Režimy provozu čerpacích soustav.....	27
3.2 Návrh optimalizace soustavy čerpání pitné vody v ÚV Nová Ves	28
4. NÁVRH POHONŮ ČERPADEL A ALGORITMU OPTIMÁLNÍHO PROVOZU ČERPADEL V SOUBĚHU	30
4.1 Návrh pohonů čerpadel a jejich frekvenčních měničů	30
4.1.1 Návrh pohonů čerpadel.....	30
4.1.2 Návrh frekvenčních měničů.....	31
4.1.3 Jištění frekvenčních měničů	33
4.1.4 Kabelové vedení	33
4.1.4.1 Výpočet úbytku napětí na silnoproudém kabelovém vedení	33

4.1.5	Řízení frekvenčních měničů a vazby na řídicí systém.....	34
4.1.5.1	Řízení frekvenčních měničů.....	34
4.1.5.2	Vazby na řídicí systém	34
4.2	Návrh algoritmu optimálního provozu čerpadel	35
4.2.1	Analýza regulace čerpadel změnou otáček	35
4.2.2	Příklad regulace pro zvolenou výšku hladiny ve VDJ Muglinov.....	38
4.2.2.1	Regulace čerpadel M1 a M2.....	38
4.2.2.2	Regulace čerpadla M3	41
4.2.2.3	Vyhodnocení rozsahu čerpaného množství a souběhu čerpadel.....	43
5.	PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE.....	46
5.1	Technická zpráva.....	46
5.1.1	Základní údaje	46
5.1.2	Účel stavby	46
5.1.3	Seznam projektové dokumentace.....	46
5.1.4	Projekční podklady	46
5.1.5	Základní technické údaje.....	46
5.1.5.1	Napěťové soustavy	46
5.1.5.2	Ochrana před úrazem elektrickým proudem	46
5.1.5.3	Ochrana proti přetížení a zkratu	46
5.1.5.4	Uzemňovací soustava.....	47
5.1.5.5	Kompenzace jalového výkonu.....	47
5.1.5.6	Vnější vlivy.....	47
5.1.5.7	Instalovaný výkon.....	47
5.1.5.8	Požadavky na elektrická zařízení.....	47
5.1.5.9	Požadavky na provedení díla.....	47
5.1.6	Technické řešení.....	47
5.1.6.1	Stávající stav	47
5.1.6.2	Nové řešení	48
5.1.6.3	Režimy ovládání.....	48
5.1.6.4	Demontáže	52
5.1.6.5	Kabelové trasy a vedení	52
5.1.7	Ochrana zdraví a bezpečnost práce	52
5.1.8	Ochrana a péče o životní prostředí	52

5.1.9	Odpady	52
6.	ZÁVĚR.....	53
	POUŽITÁ LITERATURA.....	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
	SEZNAM TABULEK	56
	SEZNAM GRAFŮ	57
	SEZNAM PŘÍLOH.....	58

1. ÚVOD

Zabezpečení dostatečného množství pitné vody představuje mnohdy velké těžkosti. Podzemní voda je díky rozmachu lidské společnosti stále více podrobována civilizačním vlivům, které mohou v mnohých případech její kvalitu dočasně a někdy i trvale nepříznivě měnit.

Odběr surové vody z přírodních zdrojů, její úprava na požadovanou kvalitativní úroveň a následný transport pitné vody ke koncovým zákazníkům představuje značné množství technologických procesů. Mnohé tyto procesy jsou ovšem energeticky vysoce náročné, což přináší snahu o jejich energetickou optimalizaci, při udržení kvalitativních a kvantitativních požadavků.

V době, kdy se společnost snaží v co největší míře zamezit dopadu jejího konání na životní prostředí, se tato otázka energetické úspory stává čím dál tím více diskutovanou. A to jak napříč veškerými průmyslovými odvětvími, tak i při provozu lidských obydlí.

V případě dimenzování čerpací stanice úpravy vody lze správným návrhem čerpací soustavy, která je tvořena čerpadly o celkovém výkonu v řádech stovek kW, docílit poměrně velké energetické úspory, což vede rovněž i k finanční úspoře při provozu této soustavy.

Toho lze docílit návrhem čerpadel, která jsou schopna spolehlivě a s vysokou účinností pokrýt požadované množství čerpané vody, a také správným návrhem motorických pohonů, které by měly pracovat také co nejhospodárněji, tedy s co největší účinností. Vzhledem k měnícím se požadavkům na aktuální čerpaná množství je nutno pohony napájet z nepřímých měničů kmitočtu, kterými lze provádět jejich regulaci na požadované hodnoty. Při návrhu optimální soustavy musí být vzaty v úvahu nejen finanční náklady na její provoz, ale také náklady dané její pořizovací cenou. Z pohledu finančních nákladů je tedy zapotřebí nalézt racionální kompromis mezi těmito dvěma nákladovými položkami v závislosti na požadované délce hospodárného provozu.

V následujících kapitolách je proveden návrh čerpadel, jejich motorických pohonů a také nepřímých měničů frekvence, kterými budou pohony čerpadel regulovány. Dále je zpracován návrh optimálního algoritmu přejíždění a souběhu čerpadel, který je závislý na požadovaném množství čerpané vody do vodovodní sítě. V závěru předkládané práce je pro navržené řešení zpracována projektová dokumentace.

2. ANALÝZA MOŽNOSTÍ ŘÍZENÍ VODÁRENSKÝCH SOUSTAV PRO ČERPÁNÍ PITNÉ VODY

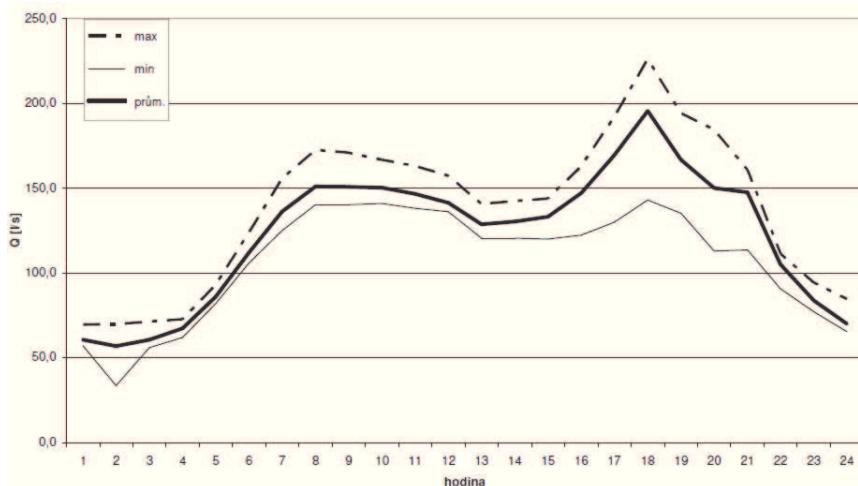
2.1 Potřeba a spotřeba vody

Potřeba vody je jedním ze zásadních podkladů při návrhu vodárenských systémů (vodních zdrojů, úpraven vody, vodojemů, čerpacích stanic, vodovodní sítě). [3]

V souvislosti s potřebou vody je nutné rozlišovat:

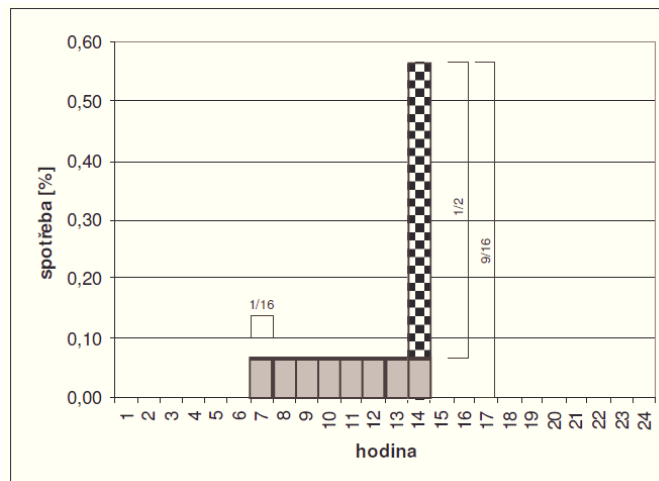
- potřebu vody, což je množství vody udávané za časovou jednotku, které je potřebné pro zajištění dodávky vody odběratelům,
- spotřebu vody, což je množství vody, které odběratel skutečně za dané časové období odebere.

Na spotřebě vody se podílí domácnosti, průmysl, administrativa, zemědělství a také ztráty vody, které mohou vzniknout při provozu, obsluze, poruchách a opravách vodovodního systému. V souvislosti s návrhem čerpací soustavy je nutno zahrnout i potřebu vody v případě vzniku požáru, tzv. požární voda. Při návrhu systému je nutné počítat s nerovnoměrným průběhem spotřeby vody v čase. Během dne se totiž vyskytují v bilanci spotřeby vody od obyvatelstva dvě špičky. Obvykle se jedná o špičky kolem 7. a 19. hodiny, které jsou dány charakterem spotřebiště. Průběh spotřeby vody obyvatelstvem je znázorněn na obrázku 2.1. Výskyt hodinových špiček v průběhu dne není jediným důležitým faktorem. Rovněž dochází k denním špičkám spotřeby vody v průběhu roku, kdy je spotřeba výrazně vyšší než celoroční průměr. [3]



Obrázek 2.1: Příklad průběhu spotřeby vody během dne [3]

Nerovnoměrnost spotřeby se neprojevuje pouze u odběru vody obyvatelstvem. Tato skutečnost se vyskytuje i u ostatních odběratelů, jakými jsou průmyslové, zemědělské či jiné podniky. Výpočet nerovnoměrnosti se v těchto případech řeší individuálně. [3]



Obrázek 2.2: Příklad průběhu spotřeby vody v průmyslovém podniku [3]

Při návrhu vodárenské soustavy je tedy nutné postupovat na základě prvotní analýzy potřeby a spotřeby vody. Po výpočtu parametrů, týkajících se potřeby a spotřeby, lze přistoupit k návrhu samotné soustavy. [3]

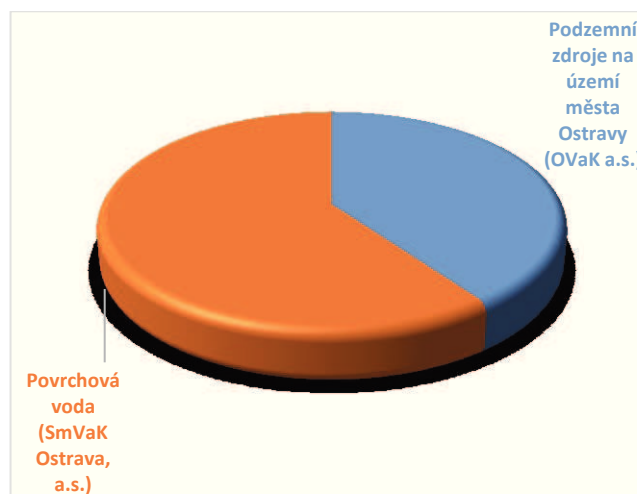
Vzhledem k výše uvedenému kolísání potřeby čerpání do vodovodní sítě, je nutné čerpací systém dimenzovat na celý požadovaný rozsah čerpaného množství vody a samotný provoz čerpacího systému následně regulovat dle aktuálních poměrů ve vodovodní síti.

2.2 Úpravna vody Ostrava - Nová Ves

2.2.1 Základní informace

Úpravna vody Ostrava - Nová Ves je provozována společností Ostravské vodárny a kanalizace a.s., která zajišťuje zásobování města Ostrava pitnou vodou z veřejné vodovodní sítě. Celkový podíl podzemních zdrojů v oblasti města Ostravy na celkovém množství roční produkce pitné vody se pohybuje kolem 35 až 40%. Zbýlých 60 až 65% pitné vody je nakupováno od společnosti Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava, a.s., která dodává již upravenou pitnou vodu z povrchových zdrojů, a to z nádrží Kružberk, Šance a Morávka. [8]

Graf 2.1: Rozdělení dodávky pitné vody na území města Ostravy



Úpravná vody Nová Ves je největší a nejvýznamnější vodárnou na území města Ostravy. Historie jímání pitné vody v lokalitě Nová Ves sahá až do roku 1885, kdy bylo jímání vody realizováno jímacími zářezy. Tento způsob jímání byl počátkem 20. století nahrazen jímáním pomocí studen, které byly napojeny na tzv. násoskový systém. Předchůdce dnešního objektu úpravný byl uveden do provozu v roce 1908. K úpravě je zde v dnešní době dodávána podzemní voda ze dvou zdrojů, a to prameniště Nová Ves a prameniště Dubí. [8]

Na již zmiňované roční produkci 35 až 40% společnosti Ostravské vodárny a kanalizace a.s. se úpravná vody Nová Ves podílí asi 69%. Zbýlých 31% produkce je zajištěno z ostatních menších podzemních zdrojů. [8]

2.2.2 Historický vývoj strojovny

Budova strojovny slouží svému účelu od roku 1908, kdy byla úpravná vody uvedena poprvé do provozu. Tehdy byla vybavena trojicí pístových čerpadel s maximální dopravní výškou 54 m pro výtlač do vodojemu. Dvě čerpadla byla v provozu a třetí sloužilo jako záložní. Napětí v síti tehdy mělo parametry 1800V a 33,3 Hz. [7]

V roce 1927 bylo na základě změny dodávky elektrické energie nutno rekonstruovat veškeré energetické zařízení. Parametry dodávky elektrické sítě se změnily ze stávajících 1800V na 6000V. Z tohoto důvodu byla vybudována trafostanice. Při této příležitosti byla rovněž stávající pístová čerpadla demontována, a na jejich místo byla nově nainstalována dvě čerpadla odstředivá, každé o výkonu 230 l/s. [7]

V 70. letech bylo nutno na základě požadavků výrobce filtračního zařízení rozdělit čerpání na dva okruhy. Na okruh nízkotlaký, čerpající předčištěnou vodu na rychlofiltry, odkud odtéká voda do vodojemu, a na vysokotlaký okruh, v rámci něhož je voda čerpána z vodojemu do vodovodní sítě města. Výkon čerpadel byl sjednocen stočením oběžných kol a v souvislosti s touto změnou provozu čerpání bylo dosaženo snížení spotřeby elektrické energie. [7]

V roce 1997 při povodních byla mnohá elektrická zařízení ÚV Nová Ves poškozena a musela být vyměněna za nová. Popis současného stavu čerpací soustavy a návrh úprav je uveden v kapitole 3. Dnešní venkovní podoba strojovny je zobrazena na obrázku 2.3. [7]



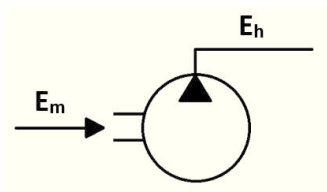
Obrázek 2.3: Budova strojovny s čerpací stanicí v dnešní době [8]

2.3 Čerpadla

2.3.1 Úvod

Čerpadla patří mezi nezbytné součásti četného množství užívaných zařízení. Čerpadla jsou součástí široké skupiny zařízení nazývané hydraulické stroje. Teoreticky popisují tyto zařízení zákony hydromechaniky, jejichž poznatky se přizpůsobují reálným, mnohdy velmi složitým poměrům v pracovním prostoru těchto zařízení. [1] [2]

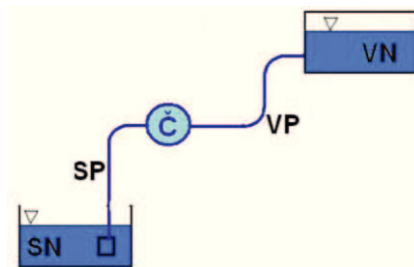
U čerpadel dochází k přeměně mechanické energie E_m na energii hydraulickou E_h , jak je znázorněno na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: Smysl přeměny energie čerpadla [1]

2.3.2 Čerpací systém

Na obrázku 2.5 je zobrazen klasický případ zapojení čerpacího agregátu do potrubního systému. Čerpadlo Č je svým sacím potrubím SP napojeno do sací nádrže SN a svým výtlačným potrubím VP je napojeno do nádrže výtlačné VN. V sací a výtlačné nádrži může být tlak stejný, například atmosférický, nebo může být rozdílný. Rovněž umístění nádrží, co se týče nadmořské výšky, může být rozdílné, ale rovněž i stejné. Výtlačné a sací potrubí vytváří pro čerpadlo zátěž. [1] [4]



Obrázek 2.5: Schéma čerpacího systému [4]

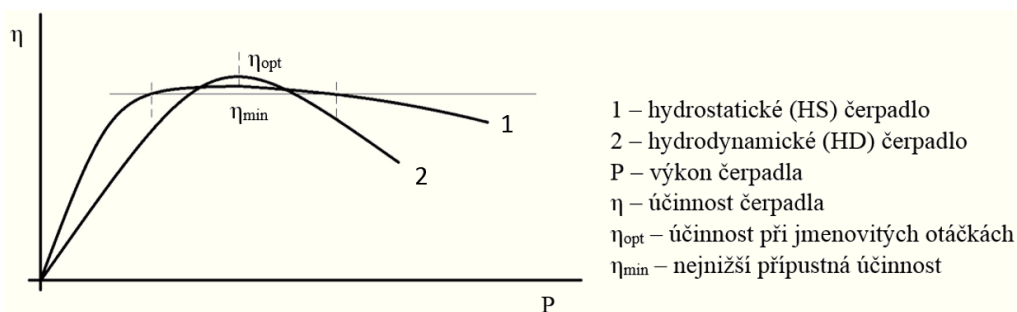
2.3.3 Typy čerpadel

Čerpadla se na základě jejich fyzikálního principu činnosti dělí na dvě základní skupiny:

- Hydrodynamická čerpadla, u nichž k přeměně mechanické energie na energii hydraulickou dochází nepřímo. Přeměna je uskutečněna změnou kinetické energie kapaliny a pracovní částí čerpadla je oběžné kolo. [1] [4]
- Hydrostatická čerpadla, u nichž dochází k přeměně mechanické energie na energii hydraulickou přímou transformací na pístu, který se v pracovním prostoru čerpadla pohybuje přímočaře či rotuje. [1] [4]

Hydrodynamická čerpadla jsou používána v oblasti velkých výkonů, například v energetice nebo ve vodním hospodářství. Hydrostatická čerpadla se používají v aplikacích velkých tlaků, jako jsou například těžká chemie či pohony lisů. Obě tyto oblasti se překrývají, proto jsou při volbě často rozhodující pořizovací a provozní náklady. [1]

Spotřeba elektrické energie je svázána s účinností transformace energie v čerpadle, a to v celém provozním rozsahu. Účinnosti obou principů čerpání je znázorněna na obrázku 2.6. Jak je vidět v optimálním pracovním bodě jsou si zhruba rovny. Avšak u hydrodynamického čerpadla dochází k rychlému poklesu účinnosti na obě strany od jmenovitého výkonu, zatímco hydrostatická čerpadla mají v široké oblasti výkonů křivku účinnosti poměrně plochou. [1]



Obrázek 2.6: Porovnání typických průběhů účinností čerpadel [1]

Vzhledem k tomu, že jsou v čerpací stanici strojovny úpravny vody Nová Ves instalována čerpadla hydrodynamická, bude i následující popis čerpadel zaměřen pouze na ně.

2.3.4 Hydrodynamická čerpadla

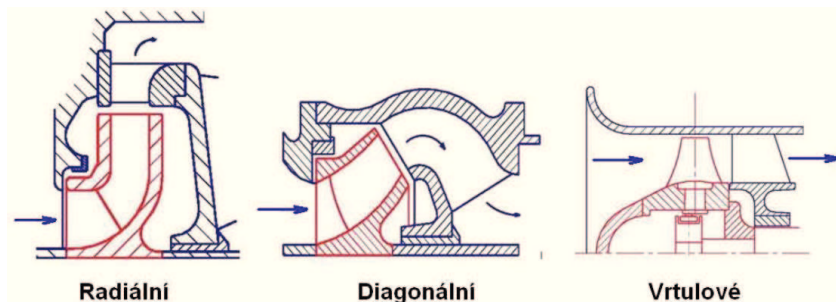
Koncepce čerpadla a tvar pracovního hydraulického prostoru jsou dány:

- požadavky na hlavní parametry čerpadla (průtok Q , dopravní výška H a otáčky n),
- sacími schopnostmi čerpadla ($NPSH$),
- vlastnostmi čerpané kapaliny (např. teplota, viskozita či měrná hmotnost),
- požadavky na umístění čerpadla v systému potrubí,
- technickými pravidly. [1] [4]

2.3.4.1 Typy hydrodynamických čerpadel

Dle konstrukčních znaků se hydrodynamická čerpadla dělí podle:

- počtu stupňů (jednostupňové, vícestupňové),
- polohy hřídele (horizontální, vertikální),
- skříně (radiální, diagonální, axiální - vrtulové),
- počtu proudů v oběžném kole (jednoproudé, dvouproudé),
- typu elektromotoru (suchý, suchý v ponorném čerpadle, zapouzdřený s mokrým rotorem). [1] [4]



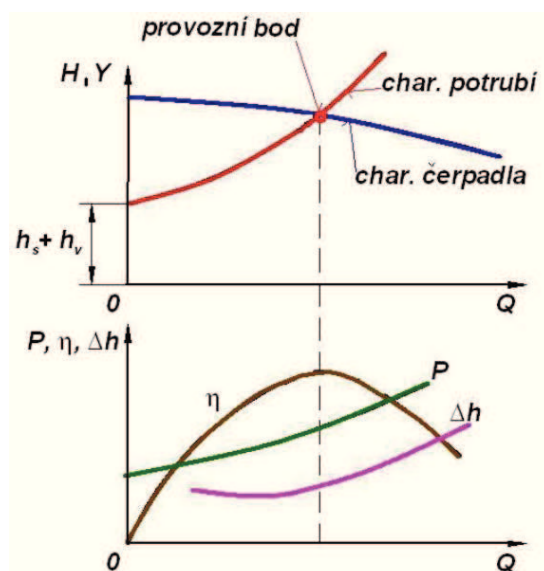
Obrázek 2.7: Hydrodynamická čerpadla [4]

2.3.4.2 Hlavní parametry

Hlavní parametry čerpadel jsou:

- Průtok Q , což je užitečný objem dopravované kapaliny na výtlačném hrdle za jednotku času. Jeho rozměr se udává v $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ nebo $[\text{l} \cdot \text{s}^{-1}]$. Velikost požadovaného průtoku má zásadní vliv na rozměry čerpadla.
- Dopravní výška H , což je hodnota užitečné energie předaná každému kilogramu kapaliny. Rozměr se udává v jednotkách $[\text{m sl. k.}]$, $[\text{kPa}]$ nebo $[\text{B}]$
- Otáčky n , charakterizující pohon čerpadla. [3]

Základní charakteristika čerpadla je dána vzájemnou vazbou mezi průtokem Q a dopravní výškou H při konstantních otáčkách n . Tato Q-H charakteristika je dána hydrodynamickými poměry v pracovním prostoru čerpadla. Charakteristika bývá obvykle doplněna křivkou příkonu P-Q, křivkou celkové účinnosti η -Q a kavitační výškou Δh -Q. Po doplnění grafu o charakteristiku potrubí se získá průtok v provozním bodě, který dodá čerpadlo a rovněž lze odečíst i ostatní výše uvedené veličiny. Typický příklad charakteristiky i s určením provozního bodu P čerpadla je uvedena na obrázku 2.8. [1] [4]



Obrázek 2.8: Charakteristika odstředivého čerpadla s určením provozního bodu P [4]

2.3.4.3 Otáčky čerpadel

Volba rychlosti otáčení oběžného kola čerpadla úzce souvisí s pohonem, který čerpadlo pohání. Nejčastěji se jedná o asynchronní elektromotor. Typické otáčky čerpadel jsou uvedeny v tabulce 2.1. Skutečné otáčky čerpadla kolísají se zatížením čerpadla. Pro hodnoty otáček uvedených v tabulce 2.1 jsou v materiálech od výrobců uváděny charakteristiky čerpadel. Charakteristiky je ovšem nutno v případě provozu čerpadla se změněnými otáčkami přepočítat dle zákonů kinematické podobnosti (afinity) na skutečné poměry. Tento přepočet je teoreticky přiblížen v kapitole 2.3.4.6 Řízení výkonu a optimalizace provozu. Použitím vyšších otáček se snižuje hmotnost a rovněž také cena čerpadla a jeho elektrického pohonu. [1]

Tabulka 2.1: Referenční otáčky čerpadel s asynchronním elektropohonem [1]

Počet pólů	2	4	6	8	10	12	14
frekvence	Referenční otáčky udávané výrobcí v charakteristikách $[\text{min}^{-1}]$						
50 Hz	2900	1450	960	725	580	480	415
60 Hz	3500	1750	1160	875	700	580	500

2.3.4.4 Účinnost čerpadel

Účinnost hydrodynamického čerpadla závisí na následujícím:

- konstrukčním uspořádání čerpadla
- jeho sací schopnosti
- tvaru charakteristiky [1]

Ztráty, které vznikají v čerpadle během přeměny mechanické energie na hydraulickou, jsou v ustáleném stavu vyjádřeny ztrátovým výkonem:

$$\Sigma P_Z = P - P_u \quad (2.1)$$

, který se transformuje (disipací) na teplo.

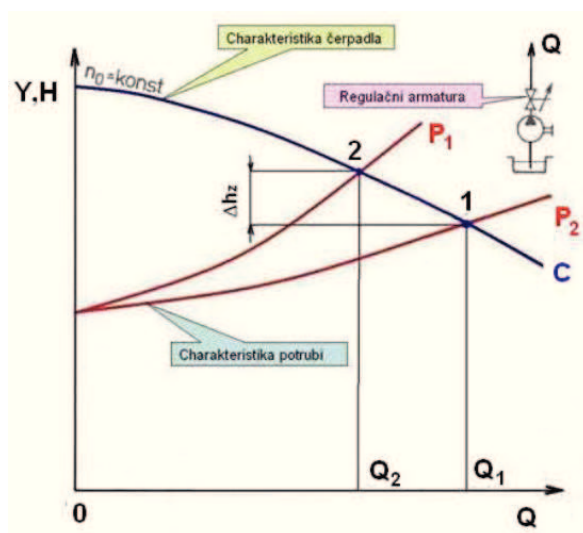
Vedle hlavních hydraulických ztrát, které vznikají při přeměně mechanické energie na hydraulickou, vznikají v čerpadle také vedlejší ztráty, které s přeměnou přímo nesouvisí. [1] [4]

2.3.4.5 Řízení výkonu a optimalizace provozu

Řízení výkonu hydrodynamických čerpadel lze provádět mnoha způsoby. Níže jsou uvedené pouze nejčastěji používané metody s jejich základním popisem.

Řízení výkonu škrcením výtlačku čerpadla

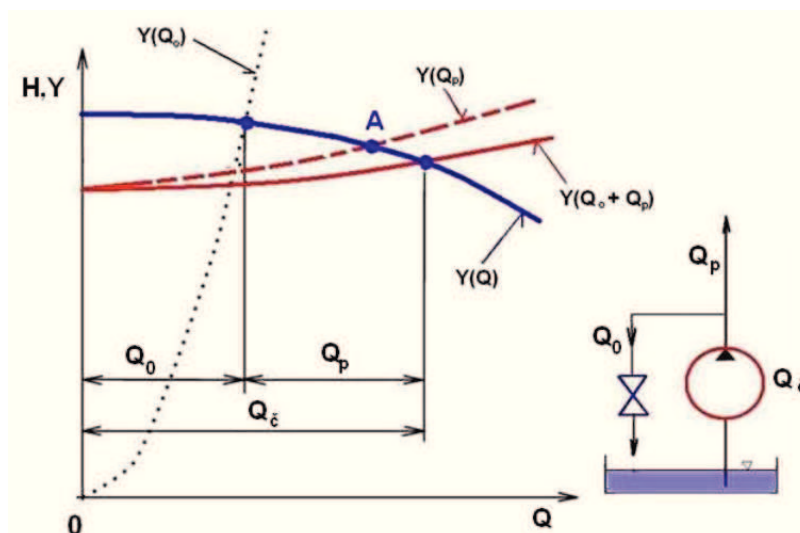
Na výtlačku čerpadla je záměrně zvětšován hydraulický odpor potrubního systému, čehož je docíleno přivíráním armatury. Výhodou tohoto řízení jsou malé pořizovací náklady, avšak účinnost čerpadla při částečném zatížení je malá. Pouze část příkonu se využije k čerpání, zbylý příkon je mařen v ztrátách. Jedná se tedy o energeticky nevýhodné řešení regulace. Vliv regulace na charakteristiku čerpadla je znázorněn na obrázku 2.9. [1] [4]



Obrázek 2.9: Charakteristika čerpacího systému při regulaci škrcením výtlačku [4]

Řízení výkonu obtokem (bypass)

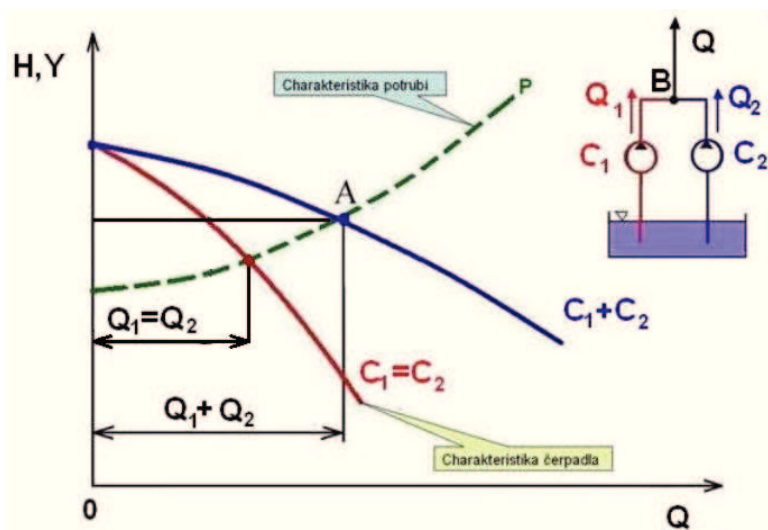
V tomto případě regulace je paralelně k výtlačku čerpadla zařazen obtok čerpadla. Část čerpaného průtoku je z výtlačného potrubí odváděna zpět do sací nádrže. Tato metoda regulace není příliš využívána z důvodů velkých energetických ztrát. Hodí se pouze pro případy čerpání malých průtoků s malou dopravní výškou. Pro čerpání hydrodynamickým (odstředivým) čerpadlem je naprosto nevhodná, neboť velká část potřebné energie přivedené do výtlačného potrubí se obtokem maří. Vliv regulace na charakteristiku čerpadla je znázorněn na obrázku 2.10. [1] [4]



Obrázek 2.10: Charakteristika čerpacího systému při regulaci obtokem [4]

Řízení výkonu paralelním uspořádáním čerpadel

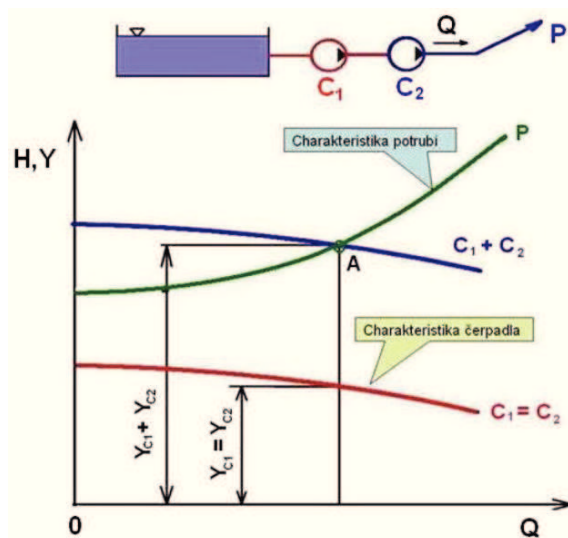
Řízení paralelním uspořádáním čerpadel lze provádět i u čerpadel s rozdílnými charakteristikami, avšak častěji se setkáváme s řízením dvou stejných čerpadel. Výsledná charakteristika čerpacího systému je dána součtem průtoků jednotlivých čerpadel při konstantním tlaku a stejné dopravní výšce. Vliv regulace na výslednou charakteristiku čerpacího systému je znázorněn na obrázku 2.11. [1] [4]



Obrázek 2.11: Charakteristika čerpacího systému při paralelním řazení [4]

Řízení výkonu sériovým uspořádáním čerpadel

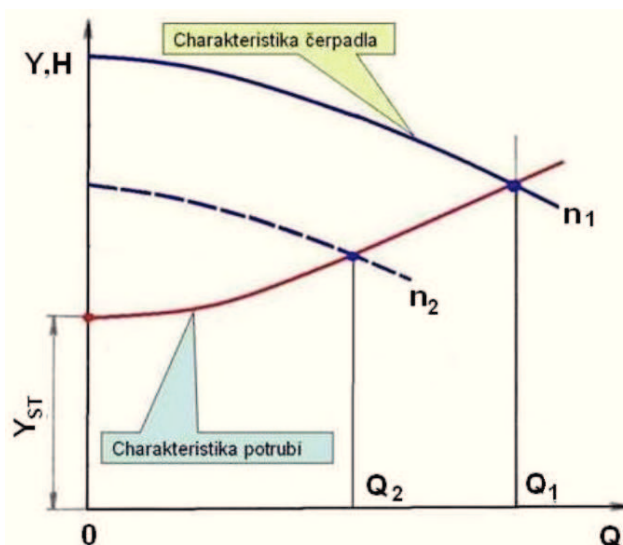
Řízení sériovým uspořádáním čerpadel lze rovněž jako u paralelního uspořádání provádět jak u čerpadel s různými charakteristikami, tak i u čerpadel stejných, což je opět častěji vyskytující se případ této regulace. Při této regulaci se na rozdíl od paralelního řazení, kde se sčítají průtoky jednotlivých čerpadel, sčítají dopravní výšky při konstantním průtoku. Vliv regulace na výslednou charakteristiku čerpacího systému je znázorněn na obrázku 2.12. [1] [4]



Obrázek 2.12: Charakteristika čerpacího systému při sériovém řazení [4]

Řízení výkonu změnou otáček

Regulace výkonu pomocí frekvenčního měniče umožňuje plynulou změnu otáček, což umožňuje hospodárné přizpůsobení výkonu čerpacího agregátu požadavkům potrubního systému. Při vzestupné lineární změně průtoku, roste odpor systému kvadraticky. Při této lineární změně roste kvadraticky rovněž i dopravní výška, což je znázorněno na obrázku 2.13. [1] [4]



Obrázek 2.13: Charakteristika čerpacího systému při regulaci změnou otáček [4]

Těmito zákonitostmi lze pokrýt malou změnou otáček velmi širokou pracovní oblast čerpadel. Přepočet referenčních otáček udávaných výrobcem lze jednoduše provést díky zákonů kinematické podobnosti (afinity). [1] [4]

$$\text{Požadovaný průtok:} \quad Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.2)$$

$$\text{Požadovaná dopravní výška:} \quad H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad [\text{m}] \quad (2.3)$$

$$\text{Požadovaný výkon:} \quad P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad [\text{W}] \quad (2.4)$$

$$\text{Požadovaný krouticí moment:} \quad M_{k2} = M_{k1} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad [\text{Nm}] \quad (2.5)$$

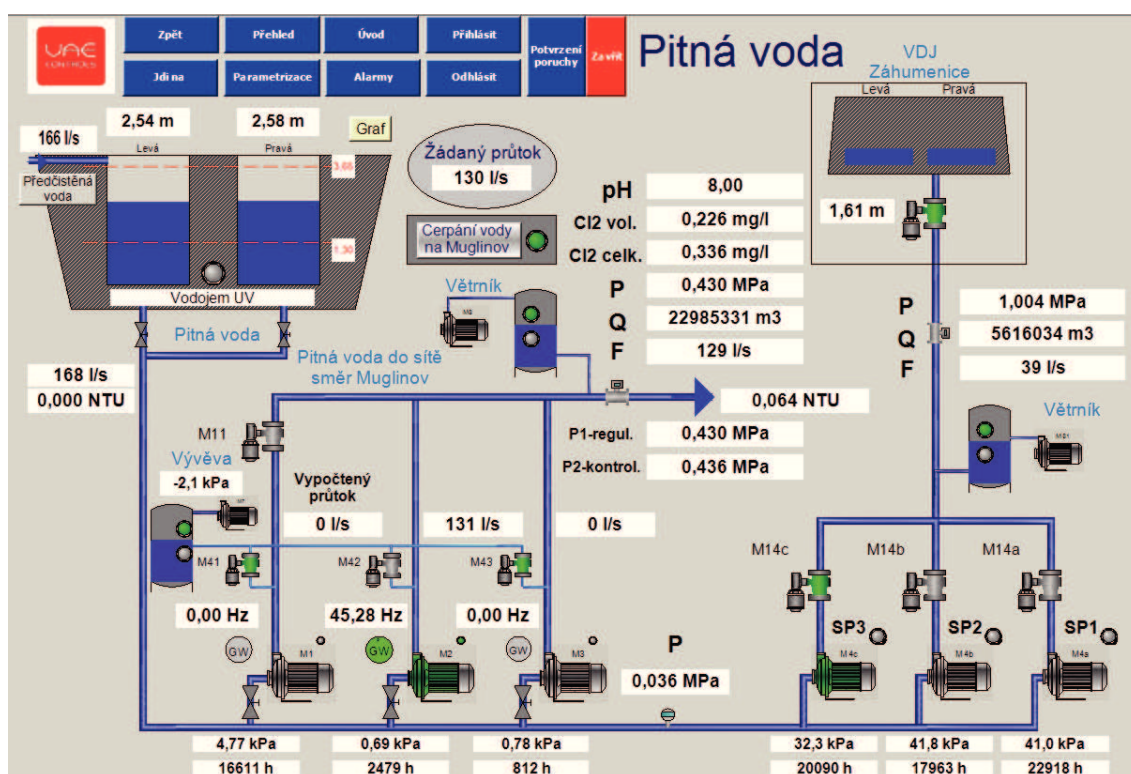
$$\text{Změna účinnosti:} \quad \eta_2 = 1 - (1 - \eta) \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{0,2} \quad [-] \quad (2.6)$$

Mezi výhody této regulace patří měkký rozběh čerpadla, což má příznivý vliv na napájecí síť, protože dojde k výraznému snížení rozběhových proudů čerpadla. Dále se mezi výhody řadí úspora elektrické energie, redukce opotřebení mechanických částí a snížení nežádoucích hydrodynamických účinků. [1] [4]

3. NÁVRH OPTIMÁLNÍ SOUSTAVY ČERPÁNÍ PITNÉ VODY V ÚPRAVNĚ VODY OSTRAVA NOVÁ VES S VYUŽITÍM REGULACE OTÁČEK ČERPADEL

3.1 Současný stav soustavy čerpání pitné vody v ÚV Ostrava Nová Ves

Technologické vybavení strojovny úpravy, které čerpá pitnou vodu do vodovodní sítě je dimenzováno na maximální průtok $Q_{max} = 300 \text{ l.s}^{-1}$. Výkon čerpadel je po zvolení směru čerpání regulován pomocí frekvenčních měničů. Do směru na vodojem Muglinov lze dodávat přibližně 220 l.s^{-1} , do směru vodojem Záhumenice přibližně 120 l.s^{-1} . V běžném provozu lze ovšem vzájemnou kombinací jednotlivých čerpadel a jejich regulací frekvenčními měniči dodávat do obou směrů čerpání pouze ověřenou maximální kapacitu úpravy, která činí přibližně 220 l.s^{-1} . Uspořádání čerpadel do jednotlivých směrů čerpání je znázorněno na obrazovce vizualizace řídicího systému úpravy na obrázku 3.1. [6]



Obrázek 3.1: Obrazovka vizualizace řídicího systému čerpací soustavy na strojovně [6]

V přízemí strojovny jsou osazena tři čerpadla (M1, M2, M3), která čerpají vyrobenou pitnou vodu do směru na vodojem Muglinov. V suterénu strojovny jsou osazena tři čerpadla (M4a, M4b, M4c), čerpající vyrobenou pitnou vodu do směru na vodojem Záhumenice. Čerpadla pro čerpání do směru na vodojem Záhumenice slouží pro čerpání pitné vody v případě, kdy je čerpání do směru na vodojem Muglinov omezeno vzhledem k poklesu spotřeby pitné vody v centru Ostravy. [6]

Na sacím i výtlačném potrubí jsou umístěny uzavírací armatury. Na výtlačné straně potrubí jsou rovněž instalovány zpětné klapky a na výtlačném potrubí čerpadla M1 je navíc instalována uzavírací armatura s elektropohonem, která zaručuje rozběh čerpadla do uzavřeného výtlaku.

Každé čerpadlo je na svém hrdle opatřeno přípojkou G 1/2" pro manometr, který zobrazuje tlakové poměry v čerpací soustavě, a snímačem tlaku a podtlaku s přenosem hodnoty tlaku či podtlaku do velínu úpravní vody. Na výtlačném potrubí je rovněž instalován manometr a tlakové čidlo s přenosem hodnoty tlaku do velínu. K měření přečerpaného množství pitné vody do vodovodní sítě ve směru na vodojem Muglinov je na výtlačném potrubí nainstalován indukční průtokoměr měřící protečené množství. [6]

V rámci čerpací soustavy jsou rovněž instalovány tzv. větrníky, které jsou na výtlačné potrubí připojeny pomocí škrtků a zpětné armatury. Tato zařízení slouží jako protirázová ochrana. Zajišťují, aby hodnota tlaku ve výtlačném potrubí nestoupala nad povolenou maximální přípustnou hranici tlaku 0,1MPa. Vzhledem k tomu, že jsou čerpadla čerpající do směru vodojem Muglinov umístěna nad úroveň hladiny vodojemu úpravní, je potřeba před jejich spuštěním čerpanou vodu nejprve podtlakem nasát do sacího potrubí. Pro tento případ možného zavzdušnění sacího potrubí je čerpací soustava doplněna o evakuační stanici, na jejíž podtlakovou nádrž jsou napojena evakuační potrubí jednotlivých čerpadel. Podtlak evakuační stanice je zajištěn vodokružnou vývěvou, která je součástí této stanice. [6]

Čerpadla M1 a M2, čerpající do směru VDJ Muglinov, jsou napájena frekvenčními měniči, které jsou instalovány v jednotlivých polích rozváděče RM5. Ten je umístěn v přízemí strojovny čerpací stanice a pole, v nichž jsou frekvenční měniče zabudovány, jsou opatřeny ventilátory pro odvod tepla, aby nedocházelo k jejich přehřívání. Každé čerpadlo lze v případě poruchy frekvenčního měniče spouštět přes tzv. bypass, který je tvořen stykačovou kombinací Y/D. Provozní a poruchové signály čerpadel a měničů jsou napojeny na jednotky vzdálených vstupů a výstupů řídicího systému SIMATIC firmy Siemens. Tyto jednotky jsou umístěny v rozváděči RB2, který je situován naproti silnoprůdého rozváděče RM5 v přízemí strojovny. V automatickém režimu jsou čerpadla ovládána řídicím systémem. V režimu ručním je možno čerpadla řídit pomocí ovládacích prvků umístěných na čelních dveřích jednotlivých polí rozváděče RM5.

Frekvenční měnič čerpadla M1 je umístěn v 5. poli rozváděče RM5. Jeho bypass tvořený stykačovou kombinací je umístěn ve 4. poli. Ve dveřích tohoto pole jsou zabudovány již zmíněné ovládací prvky pro ruční režim ovládání.

Frekvenční měnič čerpadla M2 je umístěn v 6. poli rozváděče RM5. Jeho bypass tvořený stykačovou kombinací je umístěn v 7. poli. Ve dveřích tohoto pole jsou zabudovány již zmíněné ovládací prvky pro ruční režim ovládání.

Čerpadlo M3, které není součástí tohoto návrhu, je napájeno frekvenčním měničem, které je instalováno v 11. poli rozváděče RH1. Ten je umístěn rovněž jako rozváděč RM5 v přízemí strojovny čerpací stanice. Čerpadlo lze v případě poruchy frekvenčního měniče spouštět přes tzv. bypass, který je tvořen stykačovou kombinací Y/D. Provozní a poruchové signály čerpadel a měničů jsou napojeny na jednotky vstupů a výstupů řídicího systému SIMATIC firmy Siemens. Tyto jednotky jsou umístěny v rozváděči RB1, který je situován ve velínu v přízemí strojovny. V automatickém režimu je čerpadlo ovládáno řídicím systémem. V režimu ručním je možno čerpadlo řídit pomocí ovládacích prvků umístěných na čelních dveřích 11. pole rozváděče RH1.

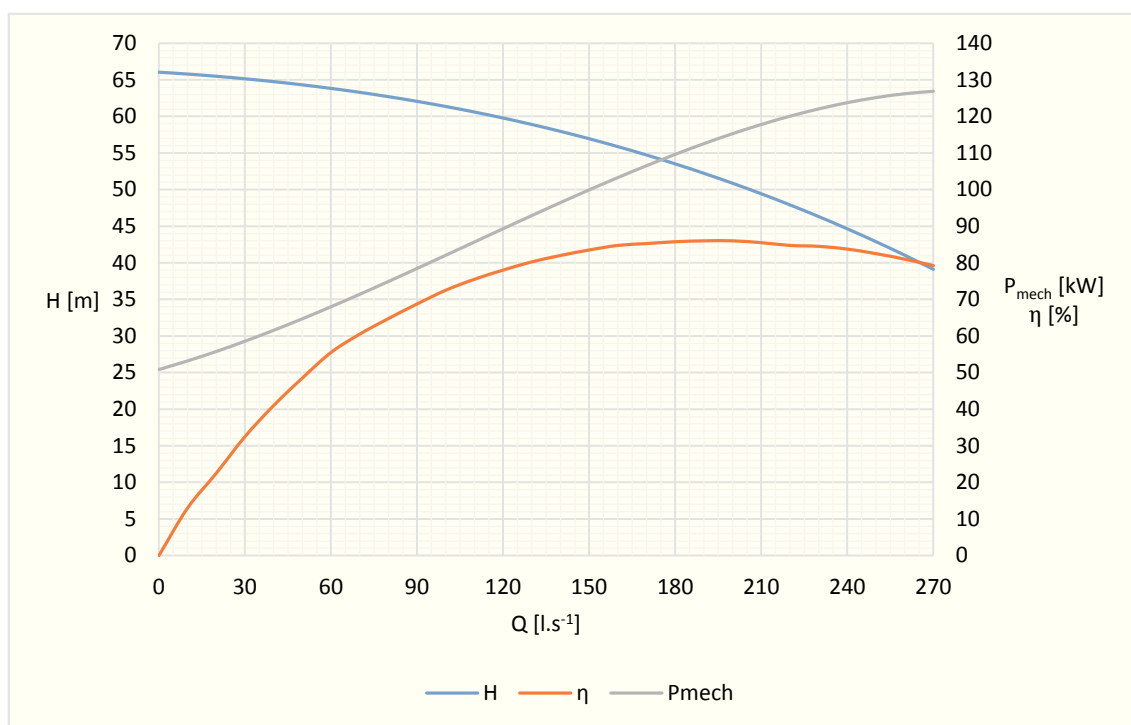
3.1.1 Stávající čerpadla a jejich charakteristiky

Následující detailní popis je zaměřen pouze na soustavu čerpadel, čerpajících do směru na VDJ Muglinov. Typy a parametry čerpadel M1, M2 a M3 jsou uvedeny v tabulce 3.1.

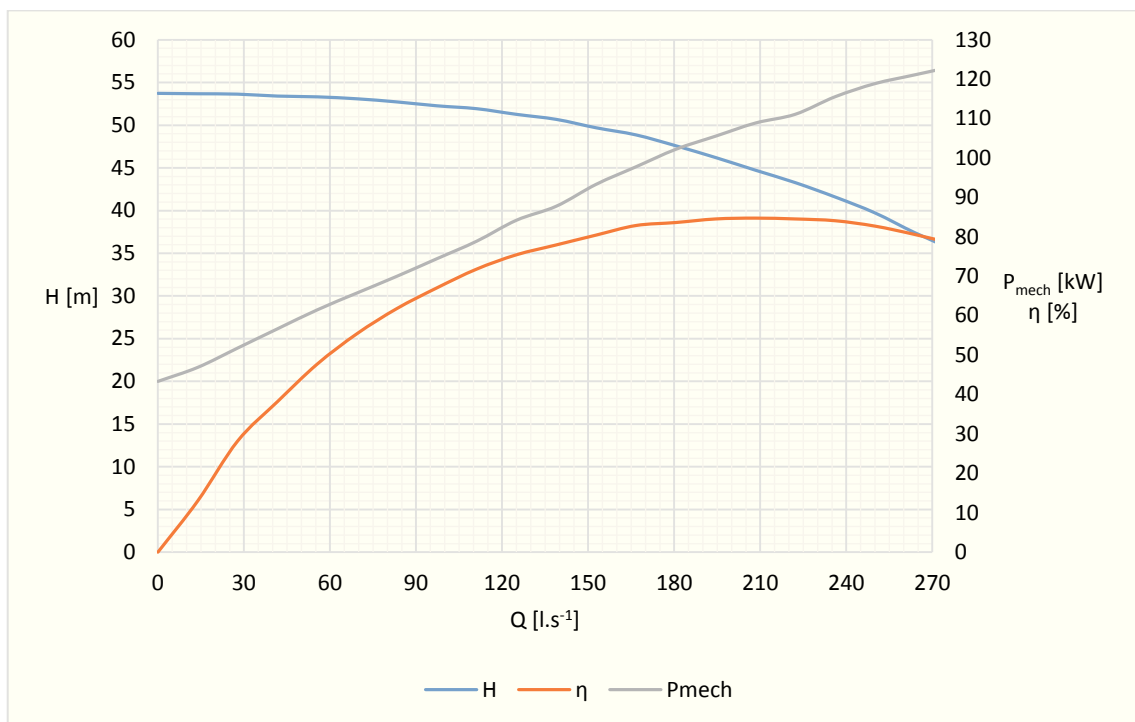
Tabulka 3.1: Štítkové hodnoty stávajících čerpadel M1, M2, M3 [18]

Označení:	M1	M2	M3	
Typ:	OMEGA 200-420A	HS 250-200-381	Etanorm M 150-400 M11	
Výrobní číslo:	5-L61-787 848	96794082	0005736105 001000 01	
Průtok	150	180	120	l.s^{-1}
Dopravní výška	57	47,2	50,4	m
Otáčky	1480	1492	1486	l.min^{-1}

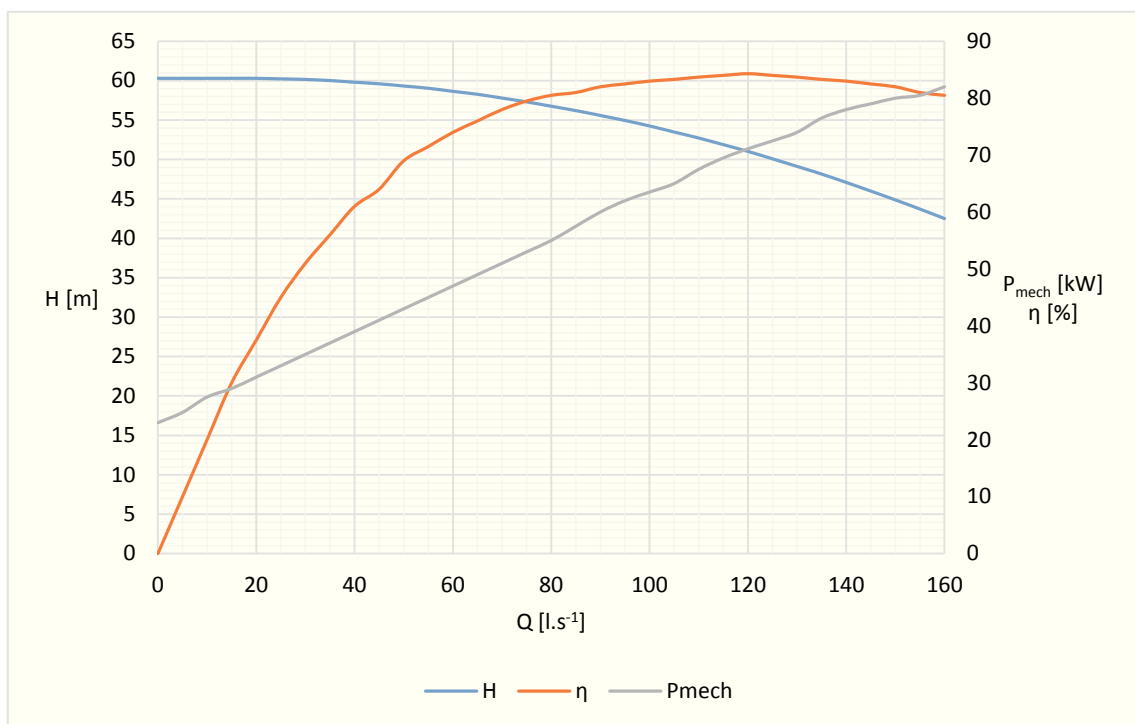
Charakteristiky čerpadel M1, M2 a M3 jsou znázorněny v grafech 3.1, 3.2 a 3.3. Křivka „H“ vyjadřuje závislost čerpaného množství Q na dopravní výšce čerpadla H . Křivka „ P_{mech} “ vyjadřuje potřebný mechanický výkon na hřídeli čerpadla, aby bylo možno čerpat požadované množství Q a křivka „ η “ vyjadřuje závislost účinnosti čerpadla na požadovaném množství Q . Veškeré tyto charakteristiky jsou vyobrazeny pro jmenovité otáčky čerpadel.



Graf 3.1: Charakteristiky stávajícího čerpadla M1 při jmenovitých otáčkách [10]



Graf 3.2: Charakteristiky stávajícího čerpadla M2 při jmenovitých otáčkách [11]



Graf 3.3: Charakteristiky stávajícího čerpadla M3 při jmenovitých otáčkách [9]

3.1.2 Stávající pohony čerpadel a jejich frekvenční měniče

Následující popis je zaměřen pouze na elektrické pohony a frekvenční měniče čerpadel, čerpajících do směru na VDJ Muglinov. Typy a parametry motorů M1, M2 a M3 jsou uvedeny v tabulce 3.2. Typy a parametry frekvenčních měničů jsou uvedeny v tabulce 3.3. Detailní popis režimů ovládání jednotlivých čerpadel a vazeb na řídicí systém je uveden v kapitole 5.1.6.3 *Režimy ovládání*.

Tabulka 3.2: Štítkové hodnoty motorů stávajících čerpadel M1, M2, M3 [18]

Označení:	M1		M2		M3		
Typ:	3AFC315M04 007		MMG315SC-G1		1LE1601 2DB2 34AB4		
Výrobce:	MEZ Frenštát		Grundfos		Siemens		
Výrobní číslo:	7405750		96292799		UC 1212/113651301		
Výkon:	132		132		90		kW
Zapojení:	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Y	
Napětí:	380	660	380÷420	660÷725	400	690	V
Proud:	255	146	236÷214	136÷124	159	92	A
Frekvence:	50		50		50		Hz
Otáčky:	1486		1480		1486		l.min ⁻¹
Účinník:	0,85		0,9		0,87		
Krytí:	IP54		IP55		IP55		

Tabulka 3.3: Štítkové hodnoty stávajících frekvenčních měničů motorů čerpadel M1, M2, M3 [18]

Označení:	GS02	GW2	GS03
Typ:	SIMOVERT 6SE7032-6EG10	VLT® AQUA DRIVE FC 202	VLT® AQUA DRIVE FC 202
Výrobce:	Siemens	Danfoss	Danfoss
Výrobní číslo:	-	00040H358	000221H442
Výkon:	132kW	132kW	90kW
Napájení:	3x380÷460V 50/60Hz 260A	3x380÷480V 50/60Hz 251/231A	3x380÷480V 50/60Hz 161/145A
Výstup:	3x0÷460V	3x0÷480V 0÷800Hz 260/240A	3x0÷480V 0÷590Hz 177/160A
Krytí:	IP00	IP00	IP20

3.1.3 Režimy provozu čerpacích soustav

Čerpací soustavy trojic čerpadel ve směrech na VDJ Muglinov a na VDJ Záhumenice, lze v závislosti na výrobní kapacitě úpravní vody, která činí již výše zmíněných 220 l.s^{-1} , provozovat v následujících režimech:

- Čerpání na VDJ Muglinov 220 l.s^{-1} , na VDJ Záhumenice 0 l.s^{-1}

Tato varianta čerpání není obvyklou. Může ovšem nastat v případě poruchy na potrubí ve směru na VDJ Záhumenice. V tomto případě je možno celou výrobní kapacitu úpravní čerpat čerpadlem M1, respektive M2, v kombinaci s čerpadlem M3. Čerpadlo z dvojice M1 a M2, které není v danou chvíli v provozu, slouží jako provozní záloha.

- Čerpání na VDJ Muglinov 180 l.s^{-1} , na VDJ Záhumenice 40 l.s^{-1}

Tato varianta čerpání je jednou z nejobvyklejších. V tomto případě je možno množství vody čerpané na VDJ Muglinov čerpat pouze čerpadlem M1, respektive M2. Zbylá výrobní kapacita úpravní vody 40 l.s^{-1} je čerpána jedním z trojice čerpadel M4a, M4b nebo M4c. Čerpadlo z dvojice M1 a M2, které není v danou chvíli v provozu, slouží jako provozní záloha. Stejně je tomu tak i u čerpadel, které čerpají na VDJ Záhumenice.

- Čerpání na VDJ Muglinov 140 l.s^{-1} , na VDJ Záhumenice 80 l.s^{-1}

Tato varianta čerpání je rovněž jednou z nejobvyklejších. V tomto případě je možno množství vody čerpané na VDJ Muglinov čerpat pouze čerpadlem M1, respektive M2. Zbylá výrobní kapacita úpravní vody 80 l.s^{-1} je čerpána dvěma z trojice čerpadel M4a, M4b nebo M4c. Čerpadlo z dvojice M1 a M2, které není v danou chvíli v provozu, slouží jako provozní záloha. Stejně je tomu tak i u čerpadel, které čerpají na VDJ Záhumenice.

- Čerpání na VDJ Muglinov 100 l.s^{-1} , na VDJ Záhumenice 120 l.s^{-1}

Tato varianta čerpání není obvyklou. V tomto případě je možno množství vody čerpané na VDJ Muglinov čerpat pouze čerpadlem M3. Zbylá výrobní kapacita úpravní vody 120 l.s^{-1} je čerpána všemi třemi čerpadly M4a, M4b a M4c. Čerpadla M1 a M2, která nejsou v tomto případě v provozu, lze považovat jako provozní zálohu.

- Čerpání na VDJ Muglinov 0 l.s^{-1} , na VDJ Záhumenice 120 l.s^{-1}

Tato varianta čerpání není obvyklou. Může ovšem nastat v případě poruchy na potrubí ve směru na VDJ Muglinov. V tomto případě je možno množství vody 120 l.s^{-1} čerpat čerpadly M4a, M4b nebo M4c na VDJ Záhumenice. V případě potřeby čerpání v tomto režimu je nutné omezení výroby pitné vody na úpravně vody.

Veškeré výše uvedené režimy provozu čerpacích soustav jsou provozovány v závislosti na výšce hladiny ve VDJ Muglinov, respektive ve VDJ Záhumenice, a také v závislosti na tlakových poměrech v jednotlivých potrubích.

Z uvedených režimů čerpání vyplývá, že čerpací soustava, která dodává pitnou vodu ve směru na VDJ Muglinov, musí být schopna pokrýt celou výrobní kapacitu úpravní vody, a to co nejehospodárněji.

3.2 Návrh optimalizace soustavy čerpání pitné vody v ÚV Nová Ves

Optimalizace soustavy čerpací stanice spočívá v návrhu nových čerpadel M1 a M2, jelikož stávající čerpadla jsou již za zenitem svého hospodárního provozu. Vzhledem k tomu, že tato čerpadla slouží vzájemně jako záložní, tak jsou navrženy dva totožné agregáty, které jsou schopny pokrýt obvyklý stav potřeby čerpání, které se pohybuje kolem $160 \div 180 \text{ l.s}^{-1}$. V případě poruchy čerpadla M1, respektive M2, tedy nebude problém pokrýt potřebné čerpané množství pitné vody. Tato čerpadla musí být rovněž schopna záskoku v případě poruchy čerpadla M3, které, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, slouží pro pokrytí čerpání množství pohybujícího se do cca 100 l.s^{-1} . Rovněž v tomto režimu záskoku za čerpadlo M3 musí být nově navržená čerpadla schopna hospodárního provozu.

Čerpadlo M3 bylo nově instalováno v roce 2013. Z tohoto důvodu se neuvažuje o jeho výměně za nový agregát, neboť ho lze považovat za nové.

Pro správný návrh a výběr čerpadel slouží následující seznam parametrů čerpací sítě a požadovaných parametrů, které musí čerpadla spolehlivě a hospodárně splnit:

Parametry čerpací sítě:

- Osa sání a výtlaku čerpadel: 210,50 m n. m.
- Dno vodojemu úpravny vody: 209,01 m n. m.
- Minimální hladina ve vodojemu 1,0 m: 210,00 m n. m.
- Dno VDJ Muglinov: 253,9 m n. m.
- Maximální hladina VDJ Muglinov: 258,15 m n. m.
- Požadovaná dodávka do čerpací sítě: do 220 l.s^{-1}
- Obvyklá dodávka do směru VDJ Muglinov: do 180 l.s^{-1}

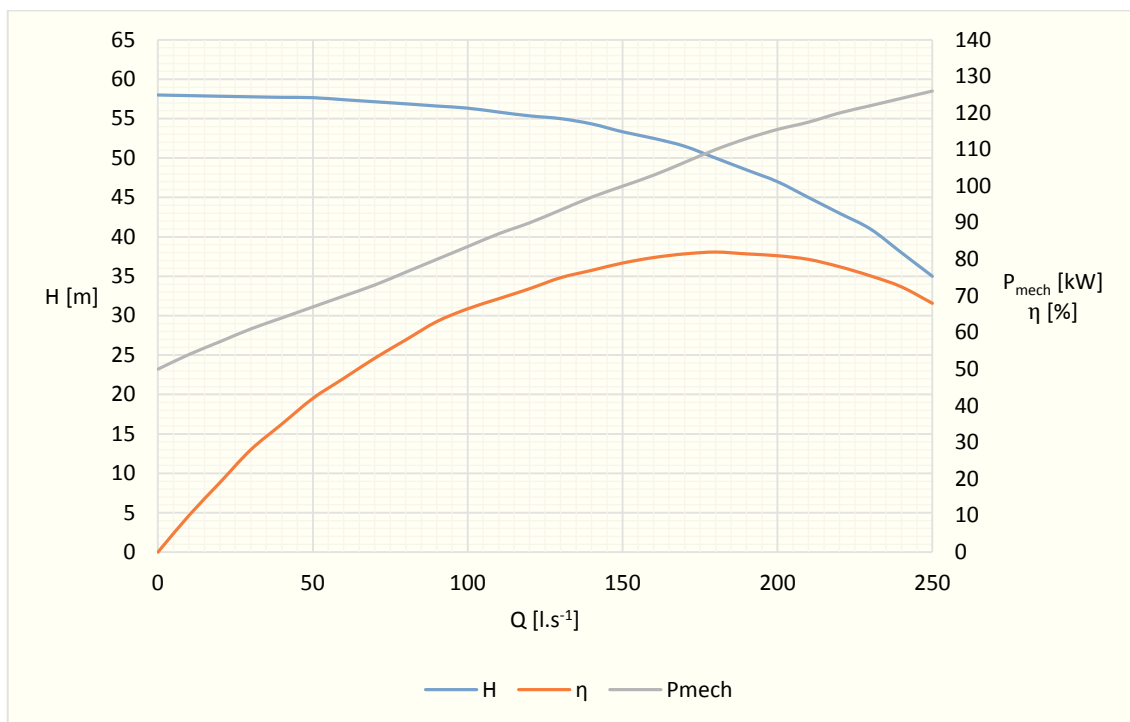
Z těchto parametrů lze odvodit požadavky na pracovní bod navržených čerpadel, které jsou následující:

- Požadovaný průtok při obvyklé potřebě čerpání: 180 l.s^{-1}
- Požadovaná dopravní výška čerpadla: 50 m

Dle těchto parametrů bylo vybráno čerpadlo Etanorm RG 200-400 od firmy KSB. Výběr byl mimo výše uvedené požadavky zaměřen na finanční nároky k pořízení nových agregátů a také na jejich provozní spolehlivost v horizontu následujících $10 \div 15$ let. Pro výběr tohoto dodavatele rovněž hovoří fakt, že jsou již na dalších místech čerpací sítě společnosti Ostravské vodárny a kanalizace a.s. agregáty tohoto výrobce instalovány a panuje s nimi všeobecná spokojenost. Čerpadlo je v litinovém kozlíkovém provedení s čelním nátokem a horním výtlakem. Jeho štitkové hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.4 a jeho charakteristiky v grafu 3.4.

Tabulka 3.4: Štitkové hodnoty nových čerpadel M1 a M2 [9]

Označení:	M1	M2	
Typ:	Etanorm RG 200-400	Etanorm RG 200-400	
Výrobce:	KSB	KSB	
Průtok	180	180	l.s^{-1}
Dopravní výška	50	50	m
Otáčky	1489	1489	l.min^{-1}



Graf 3.4: Charakteristiky nových čerpadel M1 a M2 při jmenovitých otáčkách [9]

4. NÁVRH POHONŮ ČERPADEL A ALGORITMU OPTIMÁLNÍHO PROVOZU ČERPADEL V SOUBĚHU

V této kapitole je proveden návrh elektrických pohonů a jejich frekvenčních měničů pro navržená čerpadla. Součástí je i návrh nového jištění frekvenčních měničů a kabelového vedení mezi těmito měniči a elektrickými pohony. Vzhledem k tomu, že stávající stykačová kombinace, kterou je možno v případě poruchy měniče spouštět čerpadla, je vyhovující, tak není potřeba její výměny za přístroje nové. Způsob ovládání čerpadel v automatickém i ručním režimu zůstane rovněž zachován a dojde pouze k úpravě algoritmu přejíždění čerpadel v závislosti na požadovaném průtoku pitné vody do vodovodní sítě.

4.1 Návrh pohonů čerpadel a jejich frekvenčních měničů

4.1.1 Návrh pohonů čerpadel

Pro napájení čerpadel jsou nejčastěji používány asynchronní motory. Vybraná čerpadla pracují s hodnotou jmenovitých otáček 1489 l.min^{-1} . Z tohoto vyplývá, že jejich pohonem musí být asynchronní motor s hodnotou synchronních otáček 1500 l.min^{-1} . Tento parametr je důležitý pro výběr pohonu o správném počtu pólů. V tomto případě se tedy bude jednat o čtyřpólový motor, jehož otáčky odpovídají zmíněným synchronním otáčkám.

Dalšími podstatnými parametry pro výběr správného pohonu je potřebný elektrický výkon pro provoz vybraných čerpadel a vzhledem k tomu, že v případě poruchy frekvenčního měniče mohou být čerpadla spouštěna přes stykačovou kombinaci Y/D, tak i konfigurace elektrické sítě, ze které budou asynchronní motory napájeny.

Z charakteristiky mechanického výkonu čerpadla, zobrazené v grafu 3.4, vyplývá, že pro napájení čerpadel bude potřebný pohon o výkonu minimálně 110kW. Elektrická síť v čerpací stanici je třífázová s napětím 400V při zapojení do trojúhelníku a 690V při zapojení do hvězdy.

Jedním z požadavků provozovatele je rovněž vysoká účinnost čerpací soustavy, tedy elektrických pohonů čerpadel. Z toho vyplývá minimalizace finančních nákladů na provoz. Z tohoto důvodu byly vybrány asynchronní motory s třídou účinnosti IE3, která je v dnešní době nejvyšším běžně užívaným standardem účinnosti elektrického střídavého motoru.

Dle zadaných parametrů byly vybrány asynchronní motory 1LE1603 3AB03 4AB4 od firmy Siemens, která je jedním z největších výrobců elektrických pohonů na celém světě. Motory firmy Siemens byly mimo jiné vybrány díky jejich vysoké provozní spolehlivosti a velké dostupnosti na trhu. Štítkové hodnoty vybraných motorů jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1: Štítkové hodnoty motorů nových čerpadel M1 a M2 [12]

Označení:	M1		M2		
Typ:	1LE1603 3AB03 4AB4		1LE1603 3AB03 4AB4		
Výrobce:	Siemens		Siemens		
Výkon:	110		110		kW
Zapojení:	Δ	Y	Δ	Y	
Napětí:	400	690	400	690	V
Proud:	191	112	191	112	A
Frekvence:	50		50		Hz
Otáčky:	1488		1488		l.min^{-1}
Účinník:	0,87		0,87		
Krytí:	IP55		IP55		

4.1.2 Návrh frekvenčních měničů

Při návrhu optimalizace řízení čerpací stanice je rovněž počítáno s výměnou stávajících frekvenčních měničů.

Pro napájení a řízení asynchronních motorů čerpadel jsou využívány nepřímé měniče kmitočtu. Změnou původního kmitočtu o hodnotě 50 Hz na požadovanou hodnotu probíhá regulace otáček čerpadla a v návaznosti na tuto změnu probíhá regulace výkonu pohonu, z čehož vyplývá změna dodávaného množství čerpané vody, takto řízeným čerpadlem.

Při řízení čerpadel se běžně používá regulace kmitočtu v rozmezí 40 Hz a 60 Hz. Maximální požadované čerpané množství v tomto případě odpovídá přibližně kmitočtu 50 Hz a jeho změnou je přizpůsobován průtok dle potřeby čerpání pitné vody do vodovodní sítě.

Při výběru frekvenčních měničů jsou důležitými parametry požadovaný výkon, proud a také konfigurace elektrické sítě, z níž jsou napájeny. Dle těchto požadavků jsou vybrány frekvenční měniče o výkonu 132kW pro připojení do třífázové soustavy s fázovým napětím 380÷480V.

Vybrané měniče jsou vybrány pouze v krytí IP20, neboť budou instalovány do skříňových rozváděčů, umístěných v přízemí strojovny čerpací stanice, s odvodem tepla pomocí ventilátorů.

Dle výše uvedených parametrů byly zvoleny frekvenční měniče VLT AQUA DRIVE FC 202 firmy Danfoss. Měniče z řady VLT AQUA DRIVE FC 200 jsou přímo určeny pro aplikace ve vodárenství a zpracování odpadních vod. Z tohoto důvodu se tedy jeví jako ideální. Štítkové hodnoty vybraných frekvenčních měničů jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2: Štítkové hodnoty nových frekvenčních měničů motorů čerpadel M1 a M2 [13]

Označení:	GW1	GW2
Typ:	VLT® AQUA DRIVE FC 202	VLT® AQUA DRIVE FC 202
Výrobce:	Danfoss	Danfoss
Obj. číslo:	FC-202N132T4E20H4XGC XXXXXXXAXBXCXXXXDX	FC-202N132T4E20H4XGC XXXXXXXAXBXCXXXXDX
Výkon:	132kW	132kW
Vstup:	3x380÷400V 50Hz 251A	3x380÷400V 50Hz 251A
Výstup:	3x0÷400V 0÷590Hz 260A	3x0÷400V 0÷590Hz 260A
Účinnost:	0,98	0,98
Krytí:	IP20	IP20

Parametrizace frekvenčních měničů:

Před uvedením frekvenčních měničů do provozu je nutné jim zadat parametrické sady vstupních a výstupních hodnot. Zadání těchto parametrů lze docílit dvěma způsoby, a to buď za pomoci grafického ovládacího panelu LCP, který je součástí frekvenčního měniče, nebo za využití počítače a softwaru VLT Motion Control Tool MCT 10, který pro tuto potřebu parametrizace vyvinula společnost Danfoss.

Parametrizace lze tedy provést následujícími dvěma způsoby:

a) Pomocí grafického ovládacího panelu LCP. Tento panel je rozdělen na čtyři funkční oblasti:

1. Grafický displej se stavovými řádky.
2. Tlačítka nabídek a kontrolky sloužící pro výběr režimu, ke změně parametrů a přepínání funkcí displeje.
3. Navigační tlačítka a kontrolky.
4. Ovládací tlačítka a kontrolky.

V seznam parametrových sad si lze za pomoci navigačních tlačítek vybrat zvolenou sadu a zadat požadované hodnoty jednotlivých parametrů. Na displeji ovládacího panelu jsou při provozu měniče zobrazovány provozní proměnné, jakými jsou například aktuální kmitočet, výkon či proud na výstupu frekvenčního měniče. Pro světelnou indikaci provozních stavů frekvenčního měniče slouží LED diody, které signalizují stav provozu, výstrahy či poplachu.

b) Druhou možností parametrizace je použití počítače se softwarem VLT Motion Control Tool MCT 10. Komunikaci mezi měničem a počítačem je zajištěna pomocí sériové sběrnice USB. Parametrizace pomocí toho softwaru je oproti předchozí variantě rychlejší a přehlednější.

Vzhledem k tomu, že navrhované frekvenční měniče GW1 a GW2 jsou identické, tak jejich nastavení parametrizačních sad a jednotlivých hodnot je totožné. Z toho důvodu jsou nastavované parametry uvedeny v tabulce 4.3 pouze jednou a nikoliv dvakrát pro každý frekvenční měnič zvlášť.

Tabulka 4.3: Hodnoty parametrizační sady frekvenčních měničů GW1 a GW2

ID parametru	Název parametru	Hodnota	Význam
0-01	Jazyk	47	Česky
0-02	Jednotka otáček motoru	1	Hz
0-09	Aktivní sada	9	Externí volba
1-00	Režim konfigurace	0	Bez zpětné vazby
1-20	Výkon motoru	110	kW
1-22	Napětí motoru	400	V
1-23	Kmitočet motoru	50	Hz
1-24	Proud motoru	191	A
1-25	Jmenovité otáčky motoru	1488	1.min-1
1-28	Kontrola rotace motoru	1	Zapnuto
3-15	Zdroj 1 žádané hodnoty	0	Bez funkce
3-41	Rampa 1, doba rozběhu	10	s
3-42	Rampa 1, doba doběhu	10	s
4-12	Minimální otáčky motoru	45	Hz
4-14	Maximální otáčky motoru	52	Hz

4.1.3 Jištění frekvenčních měničů

Jištění měniče bylo zvoleno na základě štítkové hodnoty jmenovitého proudu frekvenčního měniče. Jištění je provedeno nožovými pojistkami s vypínací charakteristikou aR, která je určena pro jištění polovodičů. Jsou použity pojistky typu P51U06 s nominální hodnotou 315A. Tyto pojistky jsou osazeny v pojistkovém odpínači FH2. Pojistkové odpínače i pojistky jsou vyráběny společností OEZ. [16] [17]

Provedený návrh jištění nových frekvenčních měničů byl ověřen z hlediska selektivity jištění pomocí programu SICHR společnosti OEZ.

4.1.4 Kabelové vedení

Přívodní kabelové vedení z rozváděče RM5, v jehož polích jsou umístěny frekvenční měniče GW1 a GW2, k motorům M1 a M2 budou uloženy ve stávajících kabelových trasách. Kabele budou z rozváděče RM5 vedeny v průchodu podlahou na pod její úroveň. Zde budou pod stropem suterénu strojovny vedeny po kabelových lávkách až pod prostor základu jednotlivých čerpadel. V místech základu budou kabele vedeny nahoru průrazem v podlaze vedle jednotlivých základů. Od úrovně podlahy po přípojné místo motoru budou kabele uloženy v plastových trubkách a ohebných plastových hadicích.

Signalizační kabele budou z rozváděče RB2, v němž jsou umístěny jednotky vzdálených vstupů a výstupů řídicího systému, vedeny stejnou kabelovou trasou. Musí však být vedeny v dostatečné vzdálenosti, aby nedocházelo k rušení signálových kabelů z pohledu elektromagnetické kompatibility.

Pro silnoproudé kabelové vedení budou použity kabele typu 2YSLCY-J 0,6/1kV vyráběné firmou DDA Cables, které jsou určeny pro elektrická zařízení napájená z frekvenčních měničů a tudíž jsou opatřeny předepsaným stíněním, které zaručí elektromagnetickou kompatibilitu. [14]

Pro kabelová vedení signalizační budou použity kabele typu LiYCY vyráběné rovněž firmou DDA Cables, které jsou k tomuto účelu vhodné. Velká hustota jejich stínění zaručuje odpovídající míru odrušení při přenosu signálů. [15]

4.1.4.1 Výpočet úbytku napětí na silnoproudém kabelovém vedení

Návrh kabelového vedení byl prověřen na úbytek napětí. Norma ČSN 34 1610 Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách povoluje maximální úbytek napětí na kabelovém vedení 5%. Výpočet hodnoty dovoleného úbytku je zřejmý z rovnice 4.1.

$$\text{Dovolený úbytek napětí: } u_{\Delta dov} = \frac{U_S}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = 11,55V \quad (4.1)$$

,kde U_Ssdužené napětí [V]

Při výpočtu úbytku napětí na kabelovém vedení mezi frekvenčním měničem GW1 a motorem M1 je uvažována délka kabelového vedení 15m. Úbytek napětí je vyjádřen rovnicí 4.2. Jeho hodnota činí 0,71V. Je tedy zřejmé, že vypočtený úbytek napětí nepřekračuje dovolenou mez, a tudíž je z tohoto pohledu navržený kabel vyhovující.

$$\text{Úbytek napětí: } u_{\Delta 1} = \frac{\rho_{cu} \cdot l \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot S \cdot \cos \varphi} = \frac{0,0182 \cdot 15 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 70 \cdot 0,87} = 0,71V \quad (4.2)$$

,kde U_Ssružené napětí [V]
 ρ_{cu}měrný odpor mědi [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$]
 ldélka kabelového vedení [m]
 Sprůřez vodiče kabelu [mm^2]
 $\cos \varphi$účinník motoru M1 [-]

Při výpočtu úbytku napětí na kabelovém vedení mezi frekvenčním měničem GW2 a motorem M2 je uvažována délka kabelového vedení 20m. Úbytek napětí je vyjádřen rovnicí 4.3. Jeho hodnota v tomto případě činí 0,95V. Je tedy zřejmé, že vypočtený úbytek napětí nepřekračuje dovolenou mez, a tudíž je z tohoto pohledu navržený kabel vyhovující.

Úbytek napětí:
$$u_{\Delta 2} = \frac{\rho_{cu} \cdot l \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot S \cdot \cos \varphi} = \frac{0,0182 \cdot 20 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 70 \cdot 0,87} = 0,95V \quad (4.3)$$

,kde $u_{\Delta 2}$ dovolený úbytek napětí kabelového vedení k M2 [V]
 U_Ssružené napětí [V]
 ρ_{cu}měrný odpor mědi [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$]
 ldélka kabelového vedení [m]
 Sprůřez vodiče kabelu [mm^2]
 $\cos \varphi$účinník motoru M2 [-]

4.1.5 Řízení frekvenčních měničů a vazby na řídicí systém

4.1.5.1 Řízení frekvenčních měničů

Řízení frekvenčních měničů, a tedy pohonů čerpadel jimi napájenými, bude provedeno pomocí skalárního řízení U/f. Při tomto řízení je udržován poměr napětí U k frekvenci f konstantní, čímž je docíleno konstantního momentu M na hřídeli. Při parametrech napájení 400V a 50Hz tedy odpovídá změně frekvence o 1 Hz, změna napájecího napětí 8V.

4.1.5.2 Vazby na řídicí systém

Řízení pohonů čerpadel a jejich frekvenčních měničů je zajištěno pomocí vstupních a výstupních signálů předávaných mezi těmito řízenými zařízeními a řídicím systémem. Binární vstupní a výstupní signály jsou předávány pomocí signalizačních kabelů. Analogové vstupní a výstupní signály pro řízení frekvenčních měničů jsou z řídicího systému předávány po průmyslové sběrnici Profibus.

4.2 Návrh algoritmu optimálního provozu čerpadel

Na optimální řízení čerpadel má vliv dopravní výška čerpadla H , která je dána součtem statické výšky h_s , tedy rozdílem výšek mezi osou sání čerpadel a hladinou ve VDJ Muglinov, a výšky dynamické h_{dyn} , která je dána tlakovými ztrátami ve výtlačném potrubí. Součet výšek při požadovaném čerpaném množství Q vytváří charakteristiku potrubí.

$$H = h_s + h_{dyn} \quad [\text{m}] \quad (4.4)$$

Proložení této charakteristiky do závislosti čerpaného množství Q na dopravní výšce H získáme provozní body čerpadla pro jednotlivé hodnoty požadovaného čerpaného množství Q .

Pro návrh řízení bylo využito naměřených hodnot tlaku p ve výtlačném potrubí, z nichž byly odvozeny charakteristiky potrubí pro proměnnou výšku hladiny ve VDJ Muglinov.

4.2.1 Analýza regulace čerpadel změnou otáček

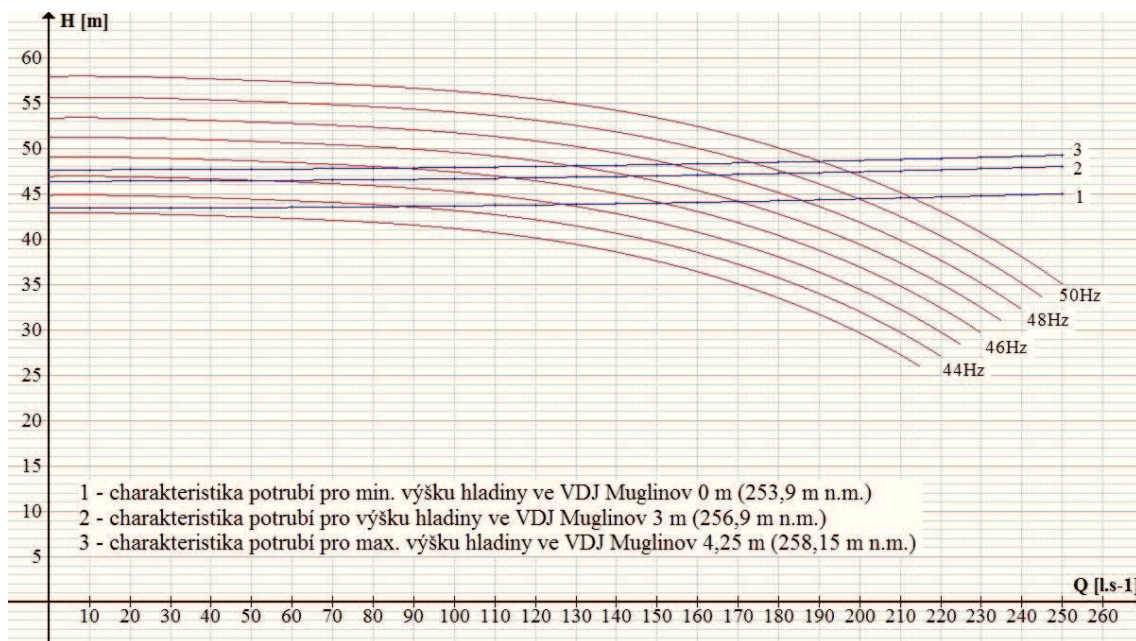
Pro analýzu regulace čerpadel změnou otáček byly využity charakteristiky čerpadel M1 a M2 znázorněné grafem 3.4 a charakteristiky čerpadla M3 znázorněné grafem 3.3.

Charakteristiky čerpadel pro jmenovitý kmitočet, a tudíž jmenovité otáčky, jsou přepočteny dle zákonů kinematické podobnosti (afinity). Vztahy pro přepočet jmenovitých hodnot přečerpávaného množství Q , dopravní výšky H a výkonu P jsou vyjádřeny rovnicemi 2.2, 2.3 a 2.4.

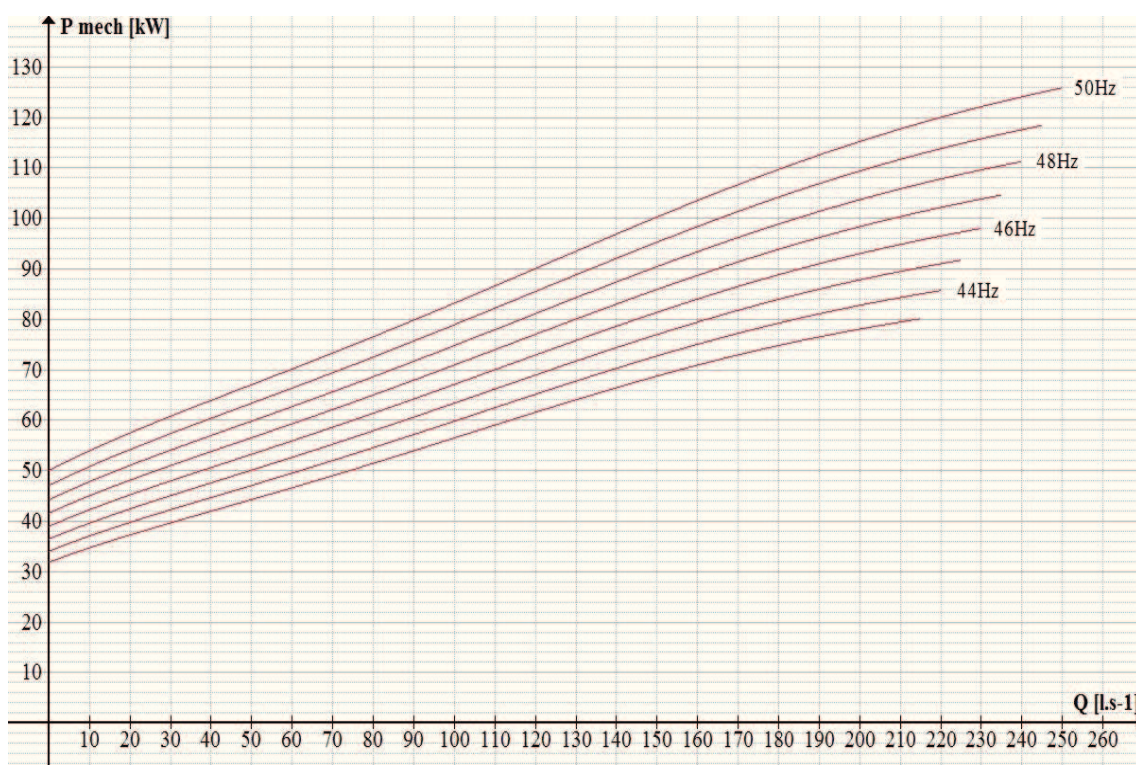
Charakteristika Q-H čerpadel M1 a M2 je zobrazena v grafu 4.1. Křivkami Q-H čerpadla jsou proloženy charakteristiky potrubí pro minimální a maximální hladinu vody ve VDJ Muglinov. Průsečíky křivek Q-H s charakteristikami potrubí vyznačují provozní body čerpadel pro odpovídající čerpané množství.

Z grafu 4.1 lze tedy jednoznačně odvodit, že oblast řízení čerpadla je dána prostorem v rozmezí charakteristik potrubí. Tato oblast řízení je ovšem omezena výkonovými charakteristikami čerpadla, znázorněnými v grafu 4.2. Z grafu rovněž vyplývá, že řízení čerpadla bude pro požadovaný rozsah čerpání probíhat přibližně v kmitočtovém pásmu 43 až 50 Hz.

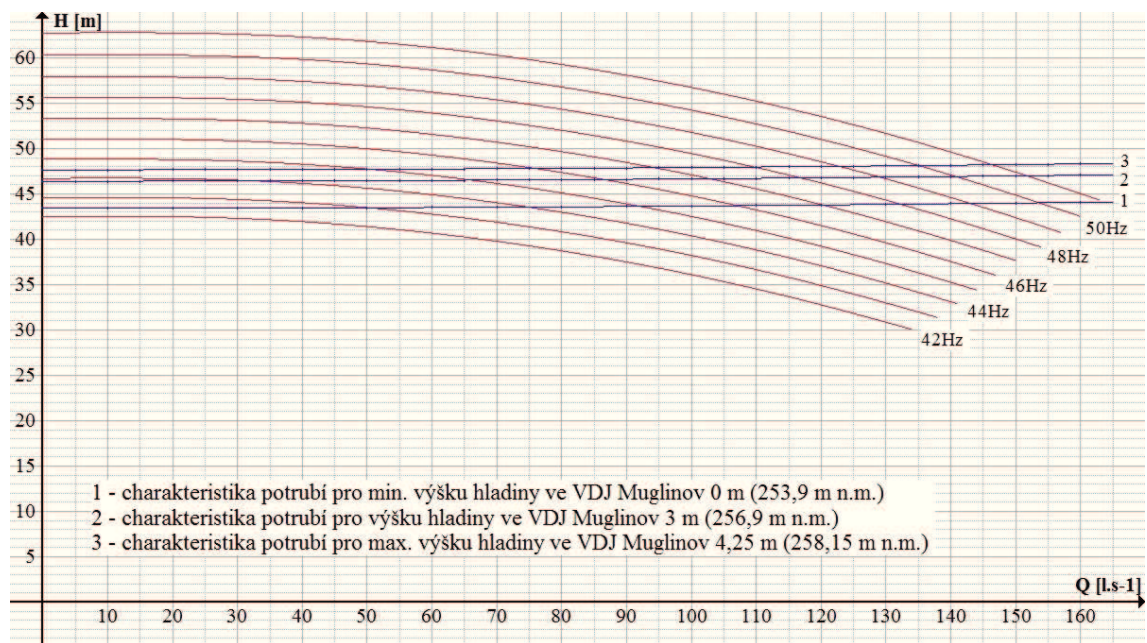
Pro stávající čerpadlo M3 byla analýza regulace provedena rovněž. Křivky Q-H čerpadla, proložené charakteristikami potrubí jsou uvedeny v grafu 4.3. Oblast řízení čerpadel je, stejně jako je tomu u čerpadel M1 a M2, vymezena prostorem mezi charakteristikami potrubí. Řízení čerpadla je omezeno výkonovými charakteristikami čerpadla, které jsou zobrazeny v grafu 4.4. Kmitočtové pásmo řízení čerpadla je u čerpadla M3 v rozmezí 42 až 51 Hz.



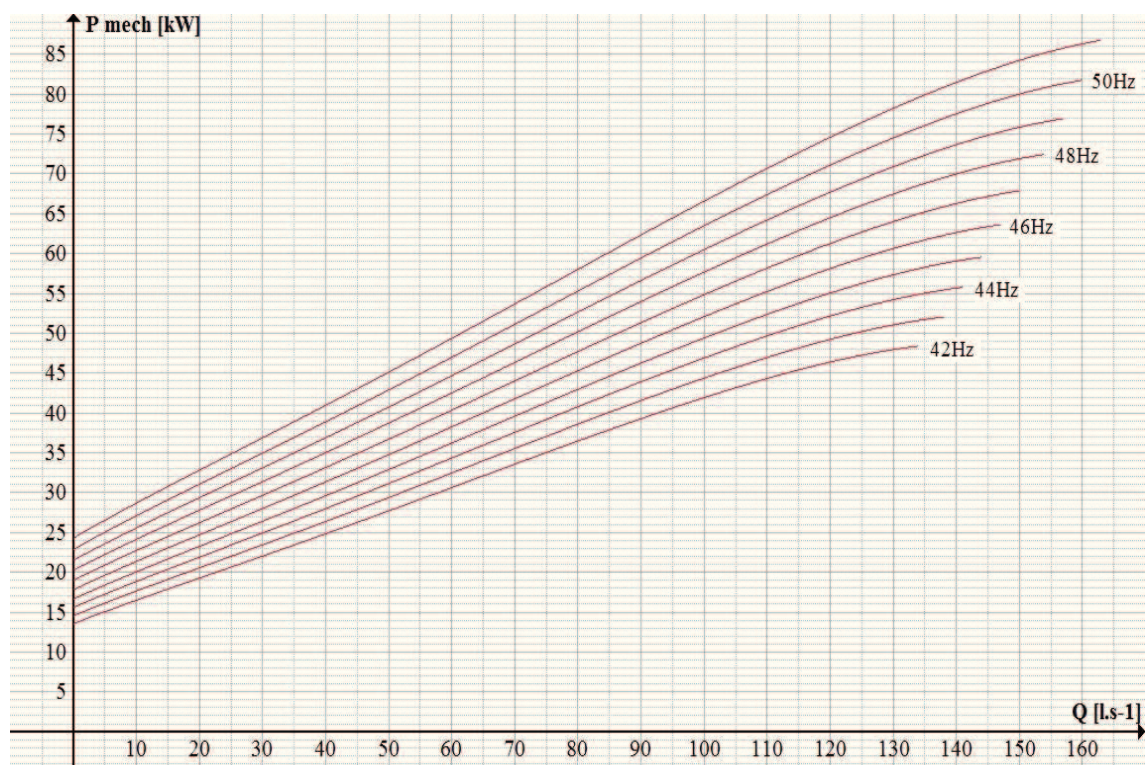
Graf 4.1: Charakteristika Q-H pro nová čerpadla M1 a M2 v pásmu řízeného kmitočtu



Graf 4.2: Charakteristika Q-P pro nová čerpadla M1 a M2 v pásmu řízeného kmitočtu



Graf 4.3: Charakteristika Q-H pro stávající čerpadlo M3 v pásnu řízeného kmitočtu



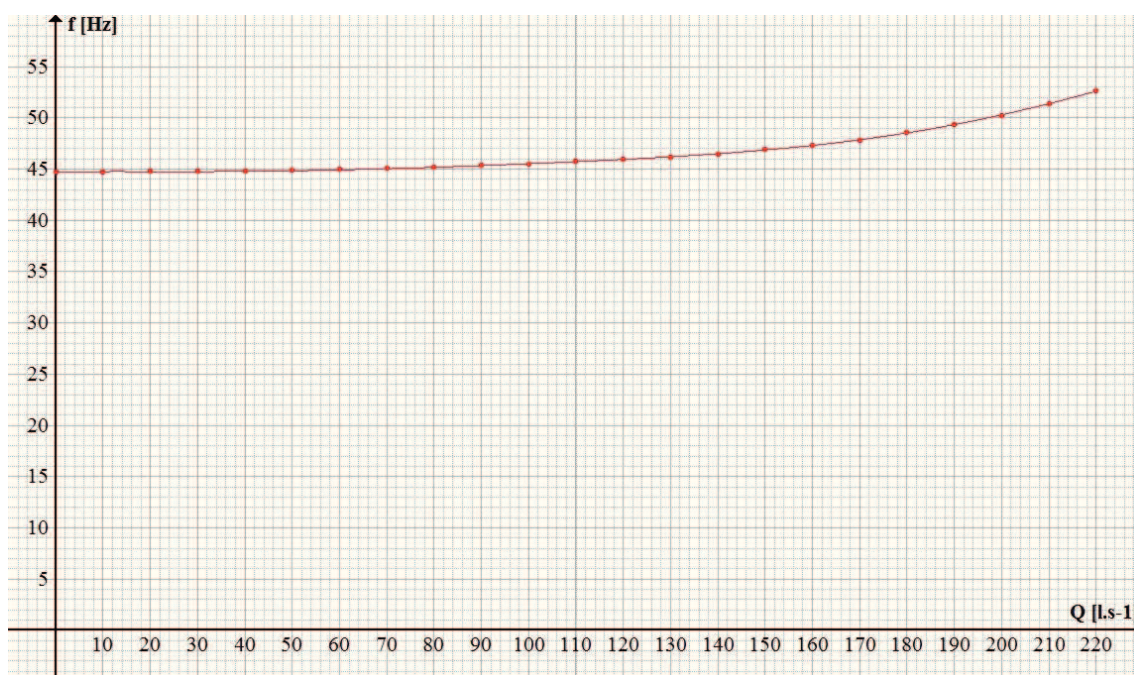
Graf 4.4: Charakteristika Q-P pro stávající čerpadlo M3 v pásnu řízeného kmitočtu

4.2.2 Příklad regulace pro zvolenou výšku hladiny ve VDJ Muglinov

Vzhledem k tomu, že hladina vody ve VDJ Muglinov je proměnná a není tedy udržována na konstantní hodnotě, bude v této práci uveden pouze příklad řízení pro zvolenou výšku hladiny. Pro znázornění byla vybrána hladina ve vodojemu 3 m, tedy 256,9 m. n. m.

4.2.2.1 Regulace čerpadel M1 a M2

Pro regulaci čerpadel M1 a M2 byly z grafu 4.1 odečteny hodnoty frekvence v provozních bodech čerpadel pro zvolenou výšku hladiny ve VDJ Muglinov. Z hodnot frekvence je vykreslena kmitočtová řídicí charakteristika čerpadla, která je znázorněna v grafu 4.5.



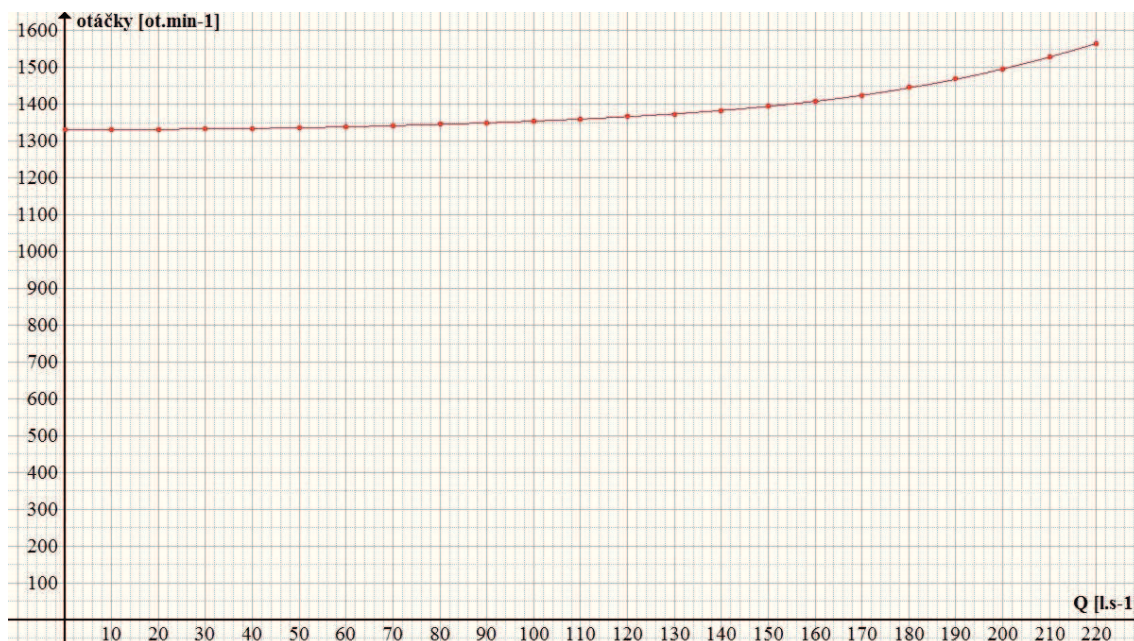
Graf 4.5: Charakteristika Q-f pro čerpadla M1 a M2 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m

Z hodnot frekvence pro jednotlivé hodnoty čerpaného množství jsou dle vztahu 4.5 vypočteny požadované otáčky čerpadel.

$$n_2 = \frac{60 \cdot f \cdot (1-s)}{p} \quad [\text{ot.min}^{-1}] \quad (4.5)$$

,kde f požadovaná frekvence v provozním bodu [V]
 s skluz motoru [1]
 p počet pól párů [1]

Z hodnot vypočtených otáček je vykreslena řídicí charakteristika otáček čerpadla, která je znázorněna v grafu 4.6.



Graf 4.6: Charakteristika Q-otáčky pro čerpadla M1 a M2 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m

Z hodnot otáček pro jednotlivé hodnoty čerpaného množství je dle zákona kinematické podobnosti pro výkon, uvedeném v rovnici 2.4, vypočten potřebný mechanický výkon na hřídeli čerpadla P_{mech} . Dle rovnic 4.6 a 4.7 je mechanický výkon P_{mech} přepočten na příkon motoru P_1 a výkon frekvenčního měniče P . Průběhy jednotlivých výkonů, respektive příkonu, jsou zobrazeny v grafu 4.7.

$$P_1 = \frac{P_{mech}}{\eta_{MOT}} \quad [W] \quad (4.6)$$

,kde η_{MOT}účinnost motoru [-]

$$P = \frac{P_1}{\eta_{FM}} \quad [W] \quad (4.7)$$

,kde η_{FM}účinnost frekvenčního měniče [-]

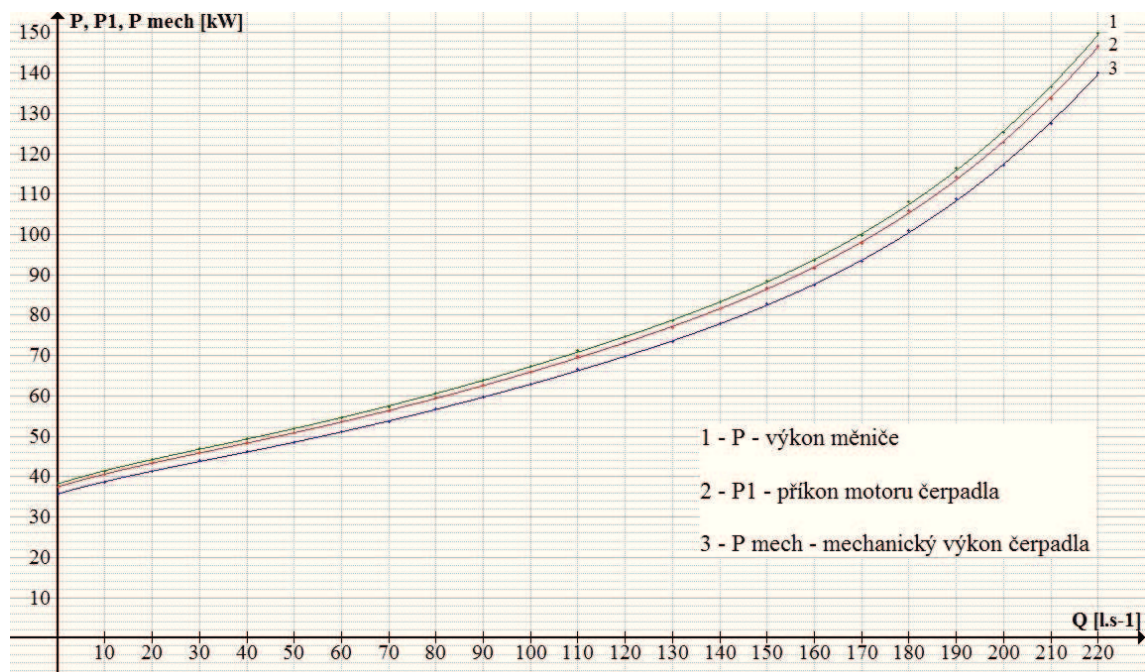
Z výkonu frekvenčního měniče je vypočtena spotřeba elektrické energie pro přečerpání jednoho kubického metru vody. Výpočet je proveden dle vztahu 4.8.

$$E = \frac{P}{Q} \quad [kWh] \quad (4.8)$$

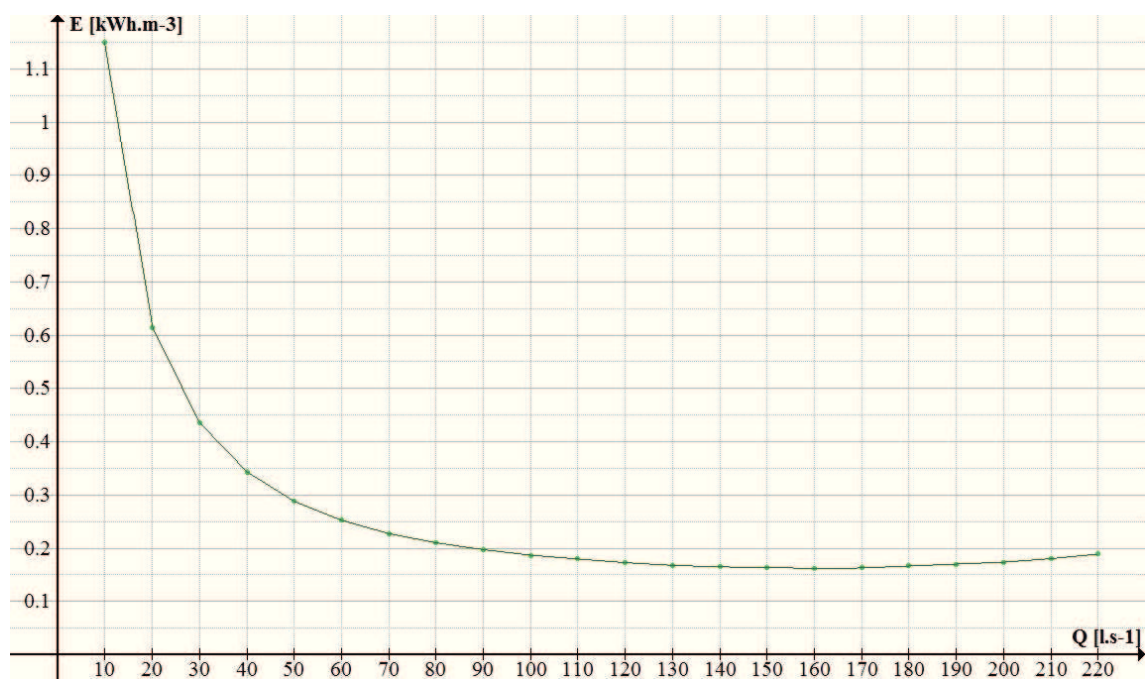
,kde Pvýkon frekvenčního měniče [kW]

Q čerpané množství [$m^3 \cdot h^{-1}$]

Průběh spotřeby elektrické energie v závislosti na čerpaném množství je znázorněn grafem 4.8.



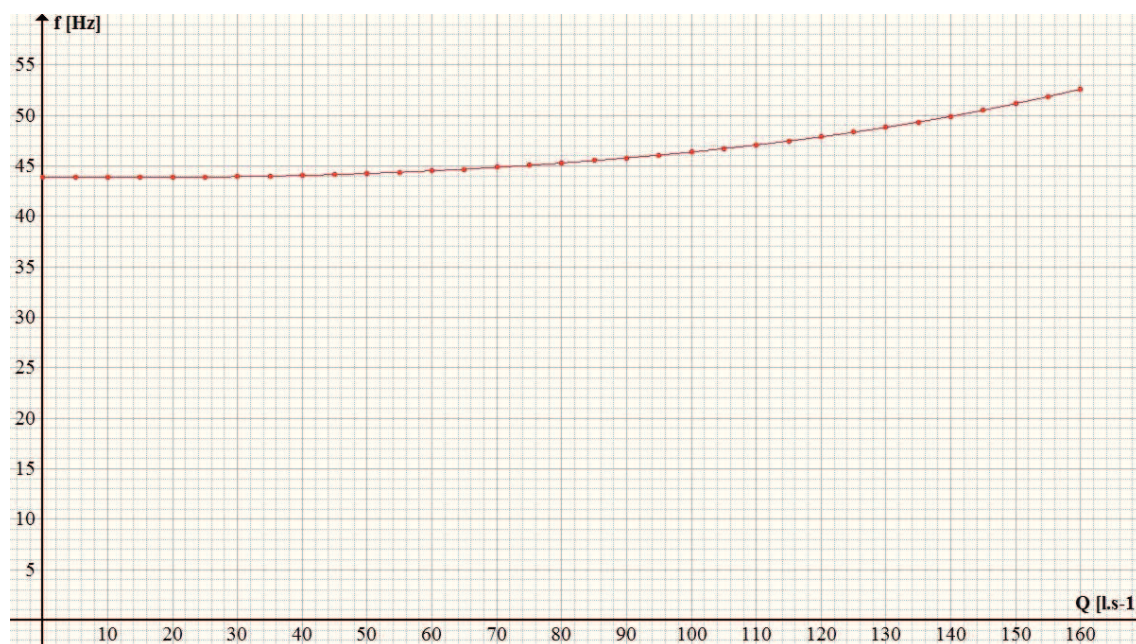
Graf 4.7: Charakteristika Q-P pro čerpadla M1 a M2 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m



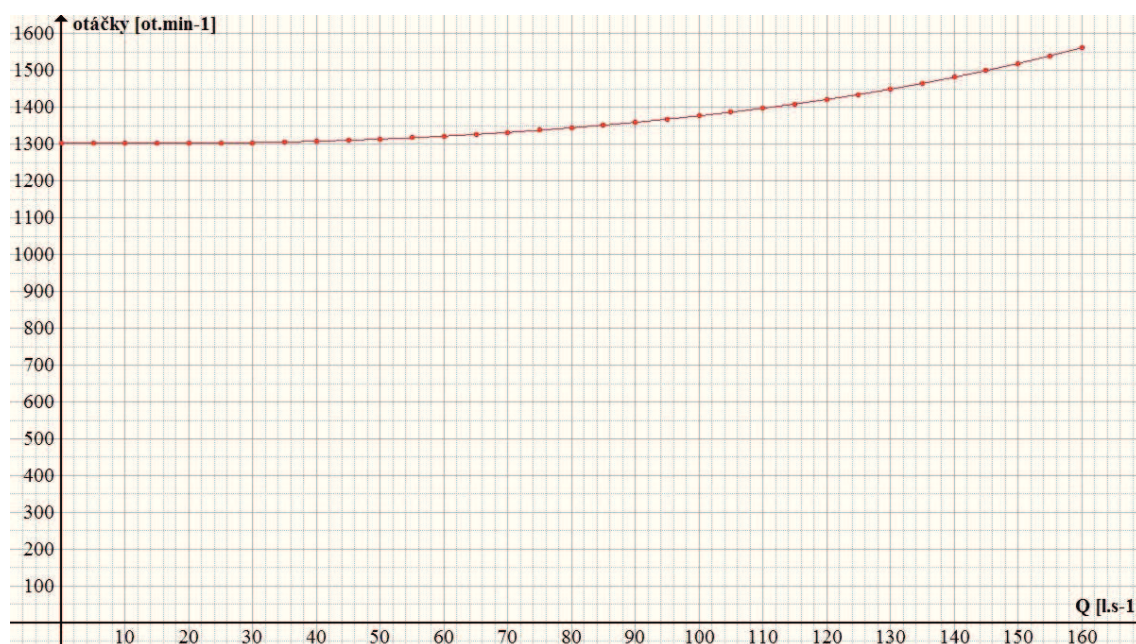
Graf 4.8: Charakteristika spotřeby elektrické energie pro čerpadla M1 a M2 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m

4.2.2.2 Regulace čerpadla M3

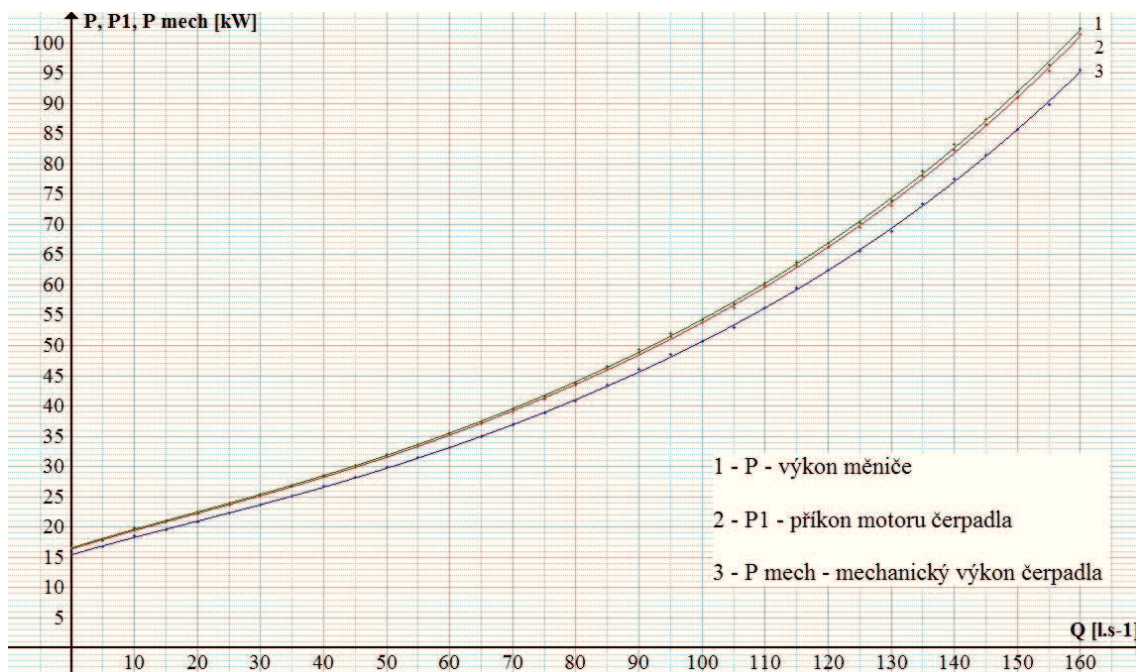
Pro regulaci čerpadla M3 byly z grafu 4.3 vyčteny hodnoty frekvence v provozních bodech čerpadel pro výšku hladiny ve VDJ Muglinov 3 m. Z hodnot frekvence byla vykreslena kmitočtová řídicí charakteristika čerpadla, která je znázorněna v grafu 4.9. Vyhodnocení regulace čerpadla M3 je provedeno stejným postupem jako u čerpadel M1 a M2, který je uveden v předchozí podkapitole 4.2.2.1 *Regulace čerpadel M1 a M2*.



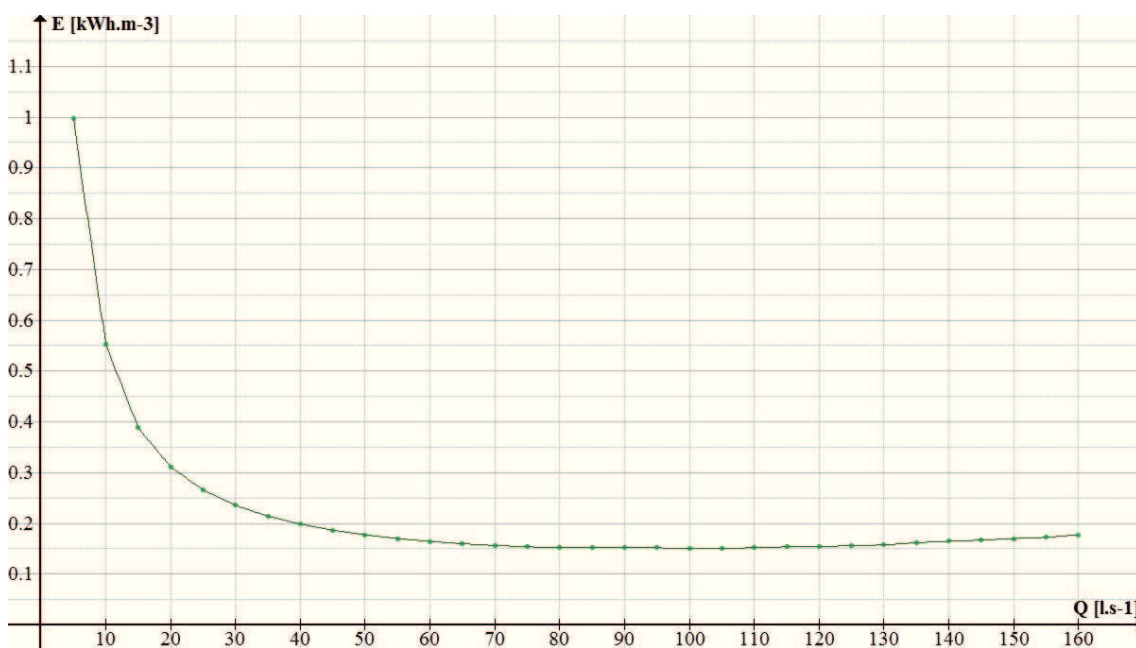
Graf 4.9: Charakteristika Q-f pro čerpadlo M3 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m



Graf 4.10: Charakteristika Q-otáčky pro čerpadlo M3 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m



Graf 4.11: Charakteristika Q-P pro čerpadlo M3 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m



Graf 4.12: Charakteristika spotřeby elektrické energie pro čerpadlo M3 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m

4.2.2.3 Vyhodnocení rozsahu čerpaného množství a souběhu čerpadel

Pro celý rozsah čerpaného množství vody, které je dáno výrobní kapacitou ÚV 220 l.s⁻¹, je vyhodnoceno řízení jednotlivých čerpadel a jejich souběžného chodu při vyšších požadovaných hodnotách čerpaného množství, které již není možné čerpat jen jedním z čerpadel. Toto vyhodnocení je zpracováno v závislosti na spotřebě elektrické energie při chodu daného čerpadla v požadovaném provozním bodu. Návrh řízení je opět proveden pro zvolenou výšku hladiny ve VDJ Muglinov 3 m. Z vypočtených hodnot jsou zvoleny tři pásma řízení čerpadel.

První pásmo řízení je v rozmezí 0÷138 l.s⁻¹ požadovaného čerpaného množství. V tomto pásmu je uvažováno čerpání čerpadlem M3. Hodnoty řízeného kmitočtu f_{GS03} frekvenčního měniče včetně výkonu měniče P_{GS03} a jeho spotřeby elektrické energie E jsou uvedeny v tabulce 4.4.

Tabulka 4.4: Nastavená frekvence měniče a jeho spotřeba pro čerpání v rozmezí 0÷138 l.s⁻¹

Q [l.s ⁻¹]	Q _{M3} [l.s ⁻¹]	f _{GS03} [Hz]	P _{GS03} [kW]	E [kWh.m ⁻³]
0	0	43,860	16,647	-
10	10	43,862	19,907	0,5530
20	20	43,866	22,447	0,3118
30	30	43,924	25,443	0,2356
40	40	44,062	28,620	0,1987
50	50	44,252	31,964	0,1776
60	60	44,520	35,577	0,1647
70	70	44,863	39,504	0,1568
80	80	45,289	43,83	0,1522
90	90	45,787	49,405	0,1525
100	100	46,368	54,304	0,1508
110	110	47,064	60,365	0,1524
120	120	47,869	66,912	0,1549
130	130	48,822	73,872	0,1578
138	138	49,554	81,494	0,1626

Druhé pásmo řízení je v rozmezí 138÷186 l.s⁻¹ požadovaného čerpaného množství. V tomto pásmu je uvažováno čerpání čerpadlem M1, respektive M2. Hodnoty řízených kmitočtů f_{GW1} a f_{GW2} frekvenčních měničů včetně výkonů měničů P_{GW1} a P_{GW2} a jejich spotřeby elektrické energie E jsou uvedeny v tabulce 4.5.

Tabulka 4.5: Nastavená frekvence měničů a jejich spotřeba pro čerpání v rozmezí 138÷186 l.s⁻¹

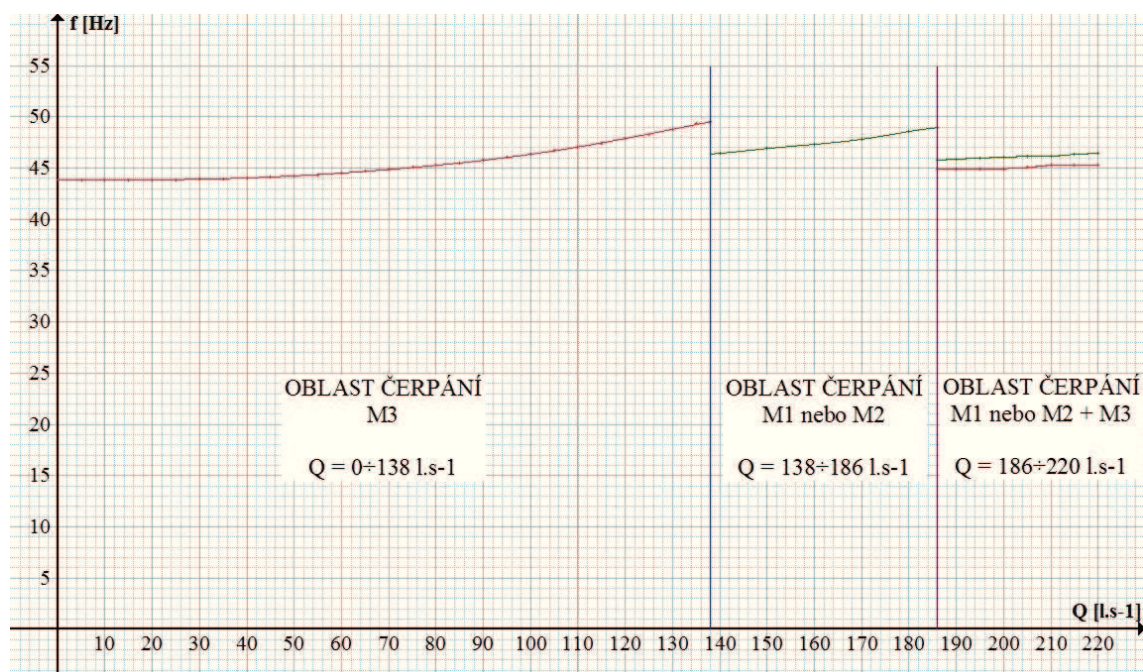
Q [l.s ⁻¹]	Q _{M1,M2} [l.s ⁻¹]	f _{GW1,GW2} [Hz]	P _{GW1,GW2} [kW]	E [kWh.m ⁻³]
138	138	46,401	82,282	0,1653
140	140	46,458	83,230	0,1651
150	150	46,931	88,448	0,1638
160	160	47,341	93,510	0,1623
170	170	47,842	99,789	0,1631
180	180	48,601	108,052	0,1667
186	186	48,974	112,069	0,1657

Poslední třetí pásmo řízení je v rozmezí $186\div 220 \text{ l.s}^{-1}$ požadovaného čerpaného množství. V tomto pásmu již není možné čerpat pouze jedním z trojice čerpadel. Proto je navrženo čerpání dvou čerpadel v souběh, přičemž volba čerpaného množství jednotlivými čerpadly je zvolena na základě optimalizace z pohledu spotřeby elektrické energie. Pro čerpání v tomto pásmu je uvažováno jedno z dvojice čerpadel M1 a M2 v souběhu s menším čerpadlem M3. Hodnoty řízených kmitočtů f_{GS03} , f_{GW1} a f_{GW2} frekvenčních měničů včetně výkonů měničů P_{GS03} , P_{GW1} a P_{GW2} a jejich spotřeby elektrické energie E jsou uvedeny v tabulce 4.6. V tabulce jsou rovněž uvedeny součtové hodnoty výkonů jednotlivých frekvenčních měničů P_{CELK} a hodnoty vážených průměrů spotřeby elektrické energie E_{CELK} .

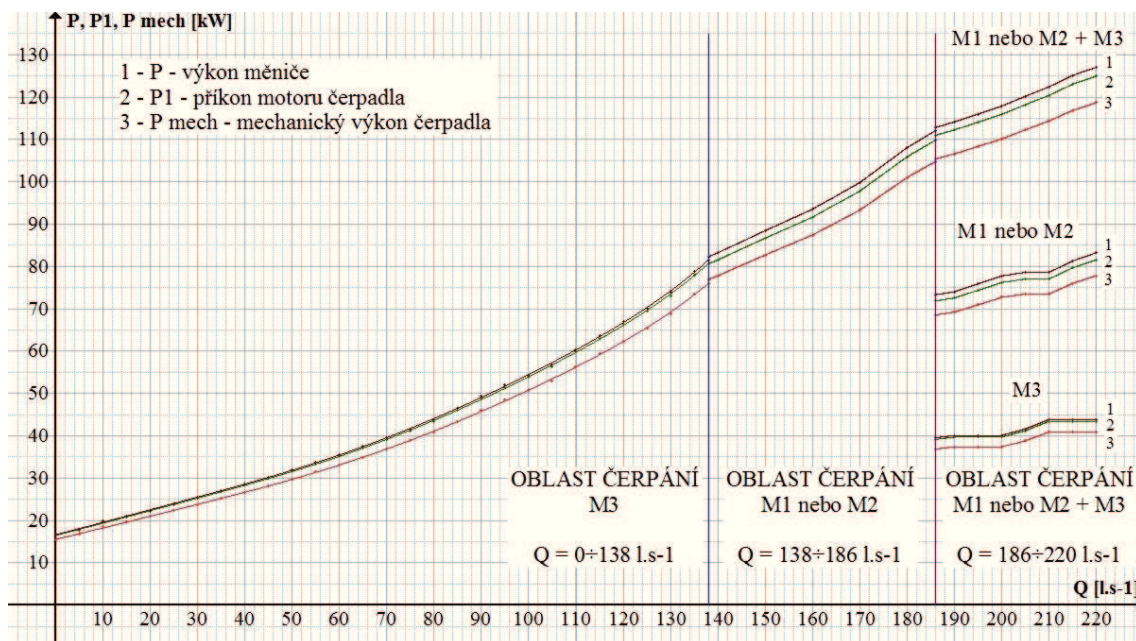
Tabulka 4.6: Nastavená frekvence měničů a jejich spotřeba pro čerpání v rozmezí $186\div 220 \text{ l.s}^{-1}$

Q	ČERPADLO M3				ČERPADLO M1 nebo M2				CELKEM	
	Q_{M3}	f_{GS03}	P_{GS03}	E	$Q_{M1,M2}$	$f_{GW1,GW2}$	$P_{GW1,GW2}$	E	P_{CELK}	E_{CELK}
[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[Hz]	[kW]	[kWh.m ⁻³]	[l.s ⁻¹]	[Hz]	[kW]	[kWh.m ⁻³]	[kW]	[kWh.m ⁻³]
186	70	44,863	39,504	0,1568	116	45,776	73,312	0,1756	112,816	0,1685
190	72	44,941	40,100	0,1547	118	45,895	74,035	0,1743	114,135	0,1669
200	72	44,941	40,100	0,1547	128	46,093	77,764	0,1690	117,864	0,1639
210	80	45,289	43,829	0,1522	130	46,141	78,595	0,1679	122,424	0,1619
220	80	45,289	43,829	0,1522	140	46,458	83,230	0,1651	127,058	0,1604

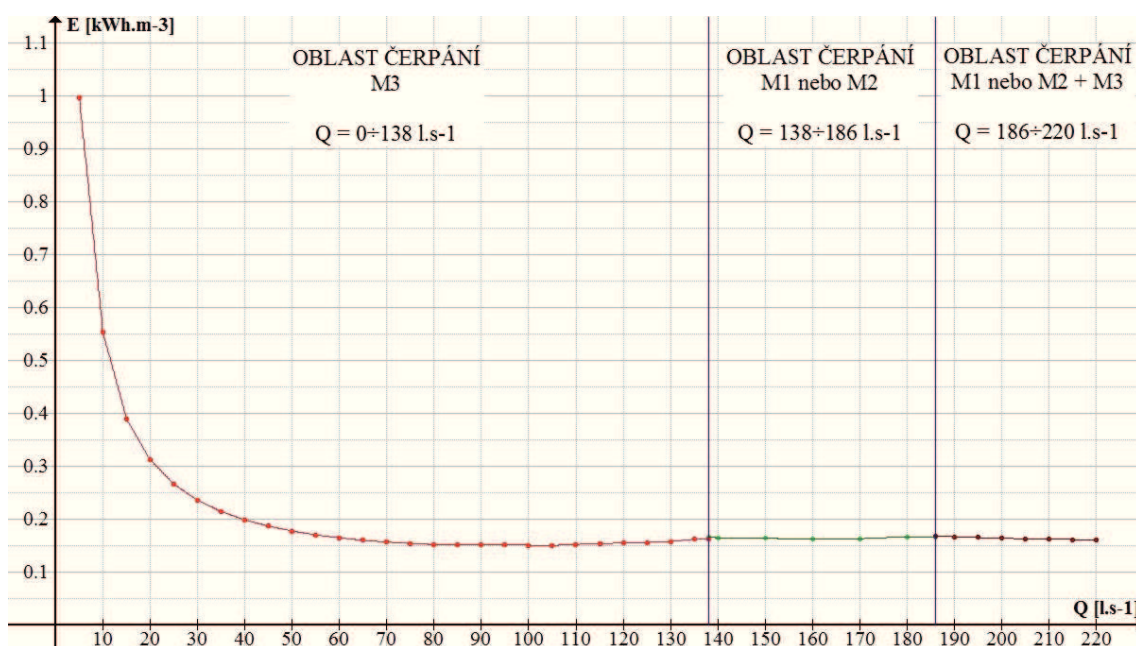
Pro řízení frekvenčních měničů, a tedy čerpadel jimi řízenými, je zpracována ve všech třech pásmech řízení kmitočtová řídicí charakteristika, která je znázorněna grafem 4.13. Pro tato pásma je zpracována i výkonová charakteristika, zobrazená v grafu 4.14, a průběh spotřeby elektrické energie v závislosti na požadovaném čerpaném množství, který je znázorněn grafem 4.15.



Graf 4.13: Charakteristika Q-f čerpadel v celém rozsahu čerpaného množství při výšce hladiny ve vodojemu 3 m



Graf 4.14: Charakteristika Q-P čerpadel v celém rozsahu čerpaného množství při výšce hladiny ve vodojemu 3 m



Graf 4.15: Charakteristika spotřeby elektrické energie čerpadel v celém rozsahu čerpaného množství při výšce hladiny ve vodojemu 3 m

Výsledný algoritmus řízení celé soustavy je dán kmitočtovými řídicími charakteristikami, které jsou znázorněny grafem 4.13. V pásmech čerpání jedním čerpadlem, tedy čerpadlem M3 pro nižší průtoky a jedním z dvojice čerpadel M1, M2 pro střední pásmo čerpání, bude řízení probíhat po stanovených křivkách kmitočtu. Při souběžném řízení dvojice čerpadel M1 a M3, respektive M2 a M3, bude řízení probíhat rovněž dle zmíněných kmitočtových charakteristik uvedených v grafu 4.13, přičemž změna mezi stanovenými řídicími kmitočty, které jsou uvedeny v tabulce 4.6, bude prováděna lineárně.

5. PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE

5.1 Technická zpráva

5.1.1 Základní údaje

Název a místo stavebníka: Statutární město Ostrava
Název stavby: Úpravna vody Ostrava – Nová Ves – výměna čerpadel
Část stavby: Provozní rozvod silnoprůdu a ASŘ
Charakter stavby: Rekonstrukce
Stupeň dokumentace: Dokumentace pro provádění stavby

5.1.2 Účel stavby

Předmětem této projektové dokumentace je rekonstrukce, úpravy a doplnění stávajícího elektrozařízení, souvisejícího s výměnou čerpadel M1 a M2 ve strojovně ÚV Nová Ves.

5.1.3 Seznam projektové dokumentace

Poř. číslo	Název	Číslo výkresu	Měřítko
1.	Obvodová schémata	A	-
2.	Přehledové schéma vazeb	B	-

5.1.4 Projekční podklady

- Dokumentace stávajících rozváděčů RM5 a RB2
- Prohlídka stávajících rozváděčů a místa stavby
- Požadavky provozovatele
- Katalogové údaje a normy platné v době zpracování projektu

5.1.5 Základní technické údaje

5.1.5.1 Napěťové soustavy

Silnoprůdová napěťové soustavy: 3PEN AC 50Hz, 400/230V/TN-C-S
1NPE AC 50Hz, 230V/TN-S
Slaboprůdové napěťové soustavy: 2PE, 24VDC/PELV

5.1.5.2 Ochrana před úrazem elektrickým proudem

Bude provedena v souladu s ČSN 33 2000-4-41 ed.2, ČSN 33 2000-5-54 ed.3 a souvisejícími normami.

Základní ochrana před nebezpečným dotykem:

- Izolací a krytím dle Přílohy A

Ochrana před nebezpečným dotykovým napětím při poruše:

- Ochranným pospojováním a automatickým odpojením v případě poruchy v souladu s 411.3÷6

5.1.5.3 Ochrana proti přetížení a zkratu

Frekvenční měniče budou jištěny pojistkovými vložkami s charakteristikou aR o jmenovité hodnotě proudu 315A.

5.1.5.4 Uzemňovací soustava

Nově instalovaná zařízení budou připojeny na stávající uzemňovací soustavu. Připojení bude provedeno vodiči 1-YY zelenožluté barvy.

5.1.5.5 Kompenzace jalového výkonu

Je tvořena kompenzačním rozváděčem RH1.7, který slouží pro hrazenou centrální kompenzaci jalového výkonu všech elektrických zařízení.

5.1.5.6 Vnější vlivy

Dle stávajícího protokolu o vnějších vlivech.

5.1.5.7 Instalovaný výkon

Instalovaný výkon rušených čerpadel:	264 kW
Instalovaný výkon nových čerpadel:	220 kW

5.1.5.8 Požadavky na elektrická zařízení

- 1) Zákon č. 22/1997 Sb. (ve znění zákona č. 71/2000 Sb.) o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů.
- 2) Nařízení vlády ČR č. 17/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na elektrická zařízení nízkého napětí.
- 3) Nařízení vlády ČR č. 616/2006 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska elektromagnetické kompatibility.
- 4) Nařízení vlády ČR č. 176/2008 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na strojní zařízení.
- 5) Vyhláška ČÚBP č. 48/1982 Sb., kterou jsou stanoveny základní požadavky k zajištění bezpečnosti práce.
- 6) Vyhláška č. 73/2010 Sb., o stanovení vyhrazených elektrických zařízení

5.1.5.9 Požadavky na provedení díla

Dílo musí být provedeno v souladu s požadavky stanovenými touto dokumentací, s technickými a právními předpisy platnými v České republice.

5.1.6 Technické řešení

5.1.6.1 Stávající stav

Stávající čerpadla pitné vody do sítě M1 a M2, obě o výkonu 132kW, jsou umístěny ve strojovně čerpací stanice. Čerpadla jsou napájena z rozváděče RM5.

Ve 4. poli je umístěn vývod pro spouštění čerpadla M1 stykačovou kombinací Y/D a v 5. poli je umístěn vývod s frekvenčním měničem SIMOVERT firmy Siemens, určený rovněž pro čerpadlo M1.

V 6. poli je umístěn vývod pro spouštění čerpadla M2 stykačovou kombinací Y/D a v 7. poli je umístěn vývod s frekvenčním měničem VLT AQUA DRIVE firmy Danfoss, určený rovněž pro čerpadlo M2.

Provozní a poruchové signály jsou napojeny na jednotky vzdálených vstupů a výstupů řídicího systému SIMATIC, který je umístěn v rozváděči RB2. Z tohoto rozváděče je rovněž prováděno automatické řízení čerpadel. Ruční ovládání čerpadel je možno provádět mimo řídicí systém pomocí ovládacích prvků na dveřích jednotlivých polí rozváděče RM5.

5.1.6.2 Nové řešení

Stávající čerpadla M1 a M2 budou demontována a nahrazena novými čerpadly o výkonu 110kW. Čerpadla budou umístěna na stávajících základech, ale vzhledem k odlišnému uspořádání sání a výtlačku bude otočeno o 180°. Z tohoto důvodu budou stávající přívody nahrazeny novými kabely. Stávající frekvenční měniče v 5. a 7. poli budou nahrazeny novými měniči VLT AQUA DRIVE firmy Danfoss o výkonu 110kW. Měniče budou s řídicím systémem komunikovat přes rozhraní Profibus.

5.1.6.3 Režimy ovládání

Při běžném provozu čerpací stanice je v provozu pouze jedno ze tří čerpadel M1, M2 nebo M3, které jsou regulovány dle požadovaného průtoku pomocí frekvenčních měničů. Při provozu přes stykačovou kombinaci Y/D je možno provozovat pouze jen jedno z trojice čerpadel. Čerpadlo M3 slouží pro čerpání malých průtoků nebo pro započetí čerpání z nulového průtoku. Ruční regulace je prováděna na základě množství vyrobené pitné vody, tedy na základě výšky hladiny v provozním vodojemu. Dále lze v ručním režimu regulovat průtok na základě tlakových poměrů v síti či dle požadavku dispečinku. Regulace je prováděna změnou kmitočtu frekvenčních měničů, nebo při provozu přes stykačovou kombinaci Y/D pomocí uzavíracích armatur, které jsou instalovány na výtlačných potrubích jednotlivých čerpadel. Z důvodu tepelného zatížení motorů při jejich rozběhu, by nemělo k rozběhu čerpadel docházet častěji než 5x za hodinu.

1) Ovládání čerpadla M1

Čerpadlo M1 lze provozovat ve dvou základních režimech, a to:

- Ruční režim – přes stykačovou kombinaci Y/D
- Automatický režim – přes frekvenční měnič

Volba režimu je prováděna pomocí přepínače VOLBA OVLÁDÁNÍ s polohami RUČ. – 0 – AUT., který je umístěn na dveřích 4. pole rozváděče RM5.

a) Ruční ovládání přes kombinaci Y/D

Uvedení čerpadla do provozu se v tomto režimu provádí nastavením přepínače VOLBA PROVOZU do polohy RUČ, nastavením přepínače RUČNĚ do polohy ZAP a pozvolným otevíráním uzavírací armatury na výtlačku čerpadla.

Chod čerpadla je indikována zelenou signálkou CHOD M1-Y/D, která je umístěna na dveřích 4. pole. Ochranu motoru v tomto režimu zajišťuje tepelné nadproudové relé a termistorová ochrana, která je zabudována do vinutí motoru.

Odstavení čerpadla z provozu se provádí pozvolným uzavíráním armatury na výtlačku čerpadel. Zároveň se nastaví přepínač RUČNĚ do polohy VYP a následně přepínač VOLBA PROVOZU do polohy 0.

Spuštění čerpadla v tomto režimu je umožněno za splnění následujících podmínek:

- Není porucha (tepelné nadproudové relé)
- Čerpadlo je zahlceno vodou (signál od vodokružné vývěvy)
- Hladina vody ve vodojemu je větší než minimální
- Je uzavřena armatura na výtlačku čerpadla
- Je aktivována protirázová ochrana (signál od větrníku)

b) Ruční ovládání přes frekvenční měnič

Uvedení čerpadla do provozu se v tomto režimu provádí nastavením přepínače VOLBA PROVOZU do polohy RUČ, nastavením přepínače RUČNĚ do polohy ZAP a pozvolným otevíráním uzavírací armatury na výtlaku čerpadla. Tlačítka VÍCE a MÉNĚ poté lze přidávat nebo ubírat otáčky motory.

Chod čerpadla je indikována zelenou signálkou CHOD M1, která je umístěna na dveřích 5. pole. V případě poruchy měniče je tento stav indikován žlutou signálkou PORUCHA, která je umístěna na tentýž dveřích. Ochrana motoru je v tomto režimu zajišťována opět termistory zabudovanými ve vinutí motoru a také frekvenčním měničem, který kontroluje velikost výstupního proudu. Hodnoty kmitočtu, průtoku a výšky hladiny v jednotlivých komorách vodojemu lze sledovat na číselných ukazatelích, které jsou rovněž umístěny na dveřích 5. pole.

Tento režim ovládání je nouzový. Při jeho volbě musí být obsluhou sledován provoz čerpadla a jednotlivé hodnoty kmitočtu, průtoku a výšky hladin na ukazatelích.

Odstavení čerpadla z provozu se provádí pozvolným uzavíráním armatury na výtlaku čerpadel. Zároveň se nastaví přepínač RUČNĚ do polohy VYP a následně přepínač VOLBA PROVOZU do polohy 0.

Spuštění čerpadla v tomto režimu je umožněno za splnění následujících podmínek:

- Není porucha měniče
- Není porucha motoru
- Čerpadlo je zahlceno vodou (signál od vodokružné vývěvy)
- Hladina vody ve vodojemu je větší než blokovácí
- Je uzavřena armatura na výtlaku čerpadla
- Není navolen ruční režim přes kombinaci Y/D
- Je aktivována protirázová ochrana (signál od větrníku)

c) Automatický provoz přes frekvenční měnič

Uvedení čerpadla do provozu se v tomto režimu provádí nastavením přepínače VOLBA PROVOZU do polohy AUT.

Chod čerpadla je indikována zelenou signálkou CHOD M1, která je umístěna na dveřích 5. pole. V případě poruchy měniče je tento stav indikován žlutou signálkou PORUCHA, která je umístěna na tentýž dveřích. Ochrana motoru je v tomto režimu zajišťována opět termistory zabudovanými ve vinutí motoru a také frekvenčním měničem, který kontroluje velikost výstupního proudu. Hodnoty kmitočtu, průtoku a výšky hladiny v jednotlivých komorách vodojemu lze sledovat na číselných ukazatelích, které jsou rovněž umístěny na dveřích 5. pole.

Tento režim ovládání je určen jako hlavní provozní. Při této volbě je provoz čerpadla a jednotlivé hodnoty kmitočtu, průtoku a výšky hladin ve vodojemu sledován řídicím systémem, který dle požadavku na dodávku pitné vody do vodovodní sítě ovládá frekvenční měnič a reguluje tedy jeho chod.

Odstavení čerpadla z provozu se provádí pozvolným uzavíráním armatury na výtlaku čerpadel. Zároveň se nastaví přepínač RUČNĚ do polohy VYP a následně přepínač VOLBA PROVOZU do polohy 0.

Spuštění čerpadla v tomto režimu je umožněno za splnění následujících podmínek:

- Není porucha měniče
- Není porucha motoru
- Čerpadlo je zahlceno vodou (signál od vodokružné vývěvy)
- Hladina vody ve vodojemu je větší než blokovací
- Je uzavřena armatura na výtlaku čerpadla
- Je aktivována protirázová ochrana (signál od větrníku)

2) Ovládání čerpadla M2

Čerpadlo M2 lze provozovat ve dvou základních režimech, a to:

- Ruční režim – přes stykačovou kombinaci Y/D
- Automatický režim – přes frekvenční měnič

Volba režimu je prováděna pomocí přepínačů VOLBA OVLÁDÁNÍ Y/D s polohami RUČ. – 0 – AUT. a VOLBA OVLÁDÁNÍ GW s polohami RUČ. – 0 – AUT, které jsou umístěny na dveřích 7. pole rozváděče RM5.

a) Ruční ovládání přes kombinaci Y/D

Uvedení čerpadla do provozu se v tomto režimu provádí nastavením přepínače VOLBA OVLÁDÁNÍ Y/D do polohy RUČ, nastavením přepínače VOLBA OVLÁDÁNÍ GW do polohy 0 a pozvolným otevíráním uzavírací armatury na výtlaku čerpadla.

Chod čerpadla je indikována zelenou signálkou CHOD M2-Y/D, která je umístěna na dveřích 6. pole. Ochranu motoru v tomto režimu zajišťuje tepelné nadproudové relé a termistorová ochrana, která je zabudována do vinutí motoru.

Odstavení čerpadla z provozu se provádí pozvolným uzavíráním armatury na výtlaku čerpadel, čímž dojde ke snížení výkonu čerpadla. Poté se čerpadlo tlačítkem STOP vypne a armatura na výtlaku se plně uzavře. Po odstavení z provozu se přepínače VOLBA OVLADANI Y/D navolí do polohy 0.

Spuštění čerpadla v tomto režimu je umožněno za splnění následujících podmínek:

- Není porucha (tepelné nadproudové relé)
- Čerpadlo je zahlceno vodou (signál od vodokružné vývěvy)
- Hladina vody ve vodojemu je větší než minimální
- Je uzavřena armatura na výtlaku čerpadla
- Je aktivována protirázová ochrana (signál od větrníku)

b) Ruční ovládání přes frekvenční měnič

Uvedení čerpadla do provozu se v tomto režimu provádí nastavením přepínače VOLBA OVLÁDÁNÍ Y/D do polohy RUČ, nastavením přepínače VOLBA OVLÁDÁNÍ GW do polohy RUČ a plným otevřením uzavírací armatury na výtlaku čerpadla. Tlačítka VÍCE a MÉNĚ poté lze přidávat nebo ubírat otáčky motoru.

Chod čerpadla je indikována zelenou signálkou CHOD M1, která je umístěna na dveřích 7. pole. V případě poruchy měniče je tento stav indikován žlutou signálkou PORUCHA, která je umístěna na tentýž dveřích. Ochranu motoru je v tomto režimu zajišťována opět termistory zabudovanými ve vinutí motoru a také frekvenčním měničem, který kontroluje velikost výstupního proudu. Hodnoty kmitočtu, průtoku a

výšky hladiny v jednotlivých komorách vodojemu lze sledovat na číselných ukazatelích, které jsou umístěny na dveřích 6. a 7. pole.

Tento režim ovládání je nouzový. Při jeho volbě musí být obsluhou sledován provoz čerpadla a jednotlivé hodnoty kmitočtu, průtoku a výšky hladin na ukazatelích.

Odstavení čerpadla z provozu se provádí snížením kmitočtu frekvenčního měniče tlačítkem MĚNĚ na požadovaný výkon čerpadla. Poté se tlačítkem STOP čerpadlo vypne. Po odstavení z provozu se přepínače VOLBA OVLADANI Y/D a VOLBA OVLÁDÁNÍ GW navolí do polohy 0.

Spuštění čerpadla v tomto režimu je umožněno za splnění následujících podmínek:

- Není porucha měniče
- Není porucha motoru
- Čerpadlo je zahlceno vodou (signál od vodokružné vývěvy)
- Hladina vody ve vodojemu je větší než blokovací
- Je uzavřena armatura na výtlaku čerpadla
- Není navolen ruční režim přes kombinaci Y/D
- Je aktivována protirázová ochrana (signál od větrníku)

c) Automatický provoz přes frekvenční měnič

Uvedení čerpadla do provozu se v tomto režimu provádí nastavením přepínače VOLBA OVLÁDÁNÍ Y/D do polohy AUT, nastavením přepínače VOLBA OVLÁDÁNÍ GW do polohy AUT.

Chod čerpadla je indikován zelenou signálkou CHOD M1, která je umístěna na dveřích 7. pole. V případě poruchy měniče je tento stav indikován žlutou signálkou PORUCHA, která je umístěna na tentýž dveřích. Ochrana motoru je v tomto režimu zajišťována opět termistory zabudovanými ve vinutí motoru a také frekvenčním měničem, který kontroluje velikost výstupního proudu. Hodnoty kmitočtu, průtoku a výšky hladiny v jednotlivých komorách vodojemu lze sledovat na číselných ukazatelích, které jsou umístěny na dveřích 6. a 7. pole.

Tento režim ovládání je určen jako hlavní provozní. Při této volbě je provoz čerpadla a jednotlivé hodnoty kmitočtu, průtoku a výšky hladin ve vodojemu sledován řídicím systémem, který dle požadavku na dodávku pitné vody do vodovodní sítě ovládá frekvenční měnič a reguluje tedy jeho chod.

Odstavení čerpadla z provozu se provádí pozvolným uzavíráním armatury na výtlaku čerpadel. Zároveň se nastaví přepínač RUČNĚ do polohy VYP a následně přepínač VOLBA PROVOZU do polohy 0.

Spuštění čerpadla v tomto režimu je umožněno za splnění následujících podmínek:

- Není porucha měniče
- Není porucha motoru
- Čerpadlo je zahlceno vodou (signál od vodokružné vývěvy)
- Hladina vody ve vodojemu je větší než blokovací
- Je uzavřena armatura na výtlaku čerpadla
- Je aktivována protirázová ochrana (signál od větrníku)

5.1.6.4 Demontáže

Budou demontovány stávající čerpadla, jejich elektrické pohony, frekvenční měniče a jejich kabelová vedení.

5.1.6.5 Kabelové trasy a vedení

Budou využity stávající kabelové trasy, které budou u čerpadel doplněny o nové plastové ochranné trubky a ohebné hadice. Instalace bude provedena kabely 2YSLCY a LiYCY.

5.1.7 Ochrana zdraví a bezpečnost práce

Požadavky na zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci upravují zákony č. 262/2006 Sb. a č. 309/2006 Sb.

Při montáži a provozování zařízení je nutno dodržovat základní požadavky k zajištění bezpečnosti práce podle vyhlášky č. 48/1982 Sb. a vyhlášky č. 591/2006 Sb. a souvisejících předpisů. Obsluhu a práci na elektrickém zařízení je nutno provádět dle bezpečnostních předpisů ČSN EN 50110 ed.2 a ČSN 50110-2 ed.2.

Elektrická zařízení jsou vyhrazená zařízení (dle vyhlášky č. 73/2010 Sb.), kde předpokladem bezpečné práce a ochrany zdraví při práci je bezpodmínečné dodržování všech bezpečnostních předpisů bezpečnosti práce a technických zařízení při jejím provozu, údržbě, opravách a revizích.

Na provedené elektroinstalace a elektrozařízení musí být před uvedením do provozu provedena výchozí revize dle ČSN 33 2000-6 a doložena revizní zprávou dle ČSN 33 1500.

Základní bezpečnostní předpisy pro obsluhu a práci na elektrických zařízeních a v jejich blízkosti ustanovuje TNI 34 3100 a ČSN 33 1310 ed.2. Všechny příkazy a nařízení pro obsluhu a práci na elektrických zařízeních, činnost nebo pobyt v její blízkosti musí být v souladu s těmito předpisy a normami ČSN.

Elektrické zařízení mohou obsluhovat pracovníci poučení ve smyslu vyhlášky ČÚBP a ČBÚ č. 50/1978 Sb., o odborné způsobilosti v elektrotechnice, ve znění pozdějšího předpisu ČÚBP a ČBÚ č. 98/1982 Sb. a v souladu s vypracovanými provozními předpisy.

5.1.8 Ochrana a péče o životní prostředí

- Stavbou nebudou dotčeny zájmy chráněné zákonem č. 289/1995 Sb., o lesích, ve znění pozdějších předpisů.
- Stavbou nebudou dotčeny zájmy chráněné zákonem č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů.
- Z hlediska zákona č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, stavbou nedojde k dotčení zemědělské půdy.
- Z hlediska zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, bude při stavbě dodržován následující postup: pokud vzniknou odpady, bude o nich vedena evidence a tato bude předložena při kolaudaci stavby. Odpady budou tříděny a na skládku budou odvezeny pouze takové, jejichž využití již nebude možné. Odpady určené na skládku budou předány oprávněné osobě, která provozuje zařízení k nakládání s odpady.

5.1.9 Odpady

- Pokud během stavby vznikne odpad, musí být ekologicky likvidován, např. odevzdáním v odpovídající sběrně odpadů. Zařazení odpadů na základě ustanovení zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech ve znění pozdějších předpisů a podle vyhlášek MŽP č. 381/2001 Sb., kterou je stanoven Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů atp. a dále dle vyhlášek č. 352/2005 Sb., č. 65/2010 Sb., č. 285/2010 Sb., které stanoví nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady a financování nakládání s nimi.

6. ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo vytvoření optimalizačního algoritmu řízení čerpadel, které jsou umístěny ve strojovně čerpací stanice úpravy vod Ostrava – Nová Ves. Čerpací soustava se skládá ze tří čerpadel čerpajících pitnou vodu do vodovodní sítě ve směru do vodojemu Muglinov. Optimalizace byla zaměřena z pohledu finančních nákladů na provoz této čerpací soustavy. Pro vytvoření algoritmu bylo nutné nastudovat a pochopit zákonitosti hydrodynamických čerpadel a jejich možností řízení na základě požadovaného čerpaného množství, především pak metodu regulace změnou otáček.

V další pasáži práce byl proveden návrh dvou nových čerpacích agregátů. Návrh čerpadel byl proveden pro požadovaný provozní bod. Jako elektrický pohon čerpadel byly zvoleny čtyřpólové asynchronní motory pracující s vysokou účinností spadající do třídy IE3. Vzhledem k požadavkům investora na cenu rekonstrukce čerpací soustavy byly zvoleny motory bez výkonové rezervy. V případě potřeby čerpání většího množství vody, než je zvolený provozní bod, tak již není možné navyšovat pomocí kmitočtové regulace zatížení motoru a je nutné čerpat v souběžném provozu dvou čerpadel. Pro napájení motorů a jejich kmitočtovou regulaci byly navrženy nepřímé měniče kmitočtu. Nedílnou součástí návrhu bylo dimenzování jističů zvolených měničů a nových kabelových vedení.

Po návrhu nových zařízení soustavy bylo přistoupeno k vytvoření optimalizačního algoritmu, podle nějž by měla být čerpací soustava řízena. Analýza říditelnosti čerpadel byla provedena na základě zákonitostí kinematické podobnosti. Výrobcem udávané charakteristiky čerpadel byly dle zmíněných vztahů přepočteny a vyhodnoceny pro všechna čerpadla v celém rozsahu čerpaného množství, které je dáno výrobní kapacitou úpravy vody 220 l.s^{-1} . Pro čerpání nižších průtoků do 138 l.s^{-1} bylo navrženo čerpání čerpadlem M3, pro čerpání průtoků od 138 l.s^{-1} do 186 l.s^{-1} bylo navrženo čerpání jedním z dvojice čerpadel M1 a M2 a pro čerpání průtoků nad 186 l.s^{-1} bylo vyhodnoceno čerpání dvojice čerpadel M1 a M3, respektive M2 a M3, v souběhu. Návrh rozsahů čerpání jednotlivých čerpadel byl proveden pro zvolenou výšku hladiny ve VDJ Muglinov 3 m.

V poslední části práce byla vytvořena projektová dokumentace pro elektrické zapojení nově navržených zařízení. Projektová dokumentace byla zpracována v programech Eplan P8 a AutoCAD.

Předpokladem návrhu je jeho realizace a implementace optimalizačního algoritmu do stávající řídicí logiky čerpací stanice.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BRADA, Karel a Petr HLAVÍNEK. *Čerpadla ve vodním hospodářství*. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000, 2004. ISBN 80-86020-43-6.
- [2] PACIGA, Alexander. *Projektovanie a prevádzka čerpaczej techniky*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1990. ISBN 80-05-00650-0.
- [3] BERÁNEK, Josef; kolektiv. *Inženýrské sítě*. Vysoké učení technické v Brně, Brno 2005
- [4] JANALÍK, Jaroslav. *Hydrodynamika a hydrodynamické stroje*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2008
- [5] JAVŮREK, Jiří. *Regulace moderních elektrických pohonů*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0507-9.
- [6] OVAK a.s.: Poskytnuté materiály
- [7] OVAK a.s.: Reklamní materiály
- [8] OVAK a.s.: *Výroba pitné vody* [online]. [cit. 2016-02-24].
Dostupné z: <<https://www.ovak.cz/index.php?structure=12&lang=1#a1>>
- [9] KSB: *Type Series Booklet* [online]. [cit. 2016-04-06].
Dostupné z: <https://shop.ksb.com/ims_docs/00/00215A9B05B41EE5BDBD1F92665FFEE4.pdf>
- [10] KSB: *Omega/Omega V* [online]. [cit. 2016-04-21].
Dostupné z: <<http://pdf.directindustry.com/pdf/ksb/omega-omega-v/7053-140644.html>>
- [11] GRUNDFOS: *HS 250-200-381* [online]. [cit. 2016-04-21].
Dostupné z: <https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from_suid=1461219206062035355141068202567&pumpsystemid=101905295&qcid=101905527>
- [12] SIEMENS: *Katalog D81 – 1202 CZ – Nízkonapětové motory 1LE1* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/katalogy/d81/cat_d81_2012_cz.pdf>
- [13] DANFOSS: *Selection Guide 0,25kW – 2MW* [online]. [cit. 2016-04-06].
Dostupné z: <<http://danfoss.ipapercms.dk/Drives/DD/Global/SalesPromotion/Brochures/ProductBrochures/UK/AQUASG/>>
- [14] DDA Cables: *2YSLCY-J 0,6/1kV* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <http://www.kabelyvodice.cz/kabely-vodice/pdf/2yslcy-j_06-1kv.pdf>

- [15] DDA Cables: *LiYCY* [online]. [cit. 2016-04-06].
Dostupné z: < <http://www.kabelyvodice.cz/kabely-vodice/pdf/liycy.pdf>>
- [16] OEZ: *Řadové pojistkové odpínače* [online]. [cit. 2016-04-06].
Dostupné z: <http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/1293-z01-15_cz_sk.pdf>
- [17] OEZ: *Pojistkové vložky pro jištění polovodičů* [online]. [cit. 2016-04-06].
Dostupné z: < http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/4984-z01-15_cz_sk.pdf>
- [18] Štítkové hodnoty stávajících zařízení ve strojírně
- [19] ČSN 33 2000-4-41 ed.2 - Z1. *Elektroinstalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [20] ČSN 33 2000-5-51 ed.3. *Elektroinstalace nízkého napětí – Část 5-51: Výběr a stavba elektrických zařízení – Všeobecné předpisy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [21] ČSN 33 2000-5-54 ed.3. *Elektroinstalace nízkého napětí – Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění a ochranné vodiče*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [22] ČSN 34 1610 – Z1. *Elektrotechnické předpisy ČSN. Elektrické silnoprůdové rozvody v průmyslových provozech*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1963.
- [23] ČSN 61 082–1 ed.3. *Zhotovování dokumentů používaných v elektrotechnice – Část 1: Pravidla*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 – Příklad průběhu spotřeby vody během dne [3]	12
Obrázek 2.2 – Příklad průběhu spotřeby vody v průmyslovém podniku [3]	13
Obrázek 2.3 – Budova strojovny s čerpací stanicí v dnešní podobě [11]	14
Obrázek 2.4 – Smysl přeměny energie čerpadla [1]	15
Obrázek 2.5 – Schéma čerpacího systému [4]	15
Obrázek 2.6 – Porovnání typických průběhu účinností čerpadel [1]	16
Obrázek 2.7 – Hydrodynamická čerpadla [4]	16
Obrázek 2.8 – Charakteristika odstředivého čerpadla s určením pracovního bodu P [4]	17
Obrázek 2.9 – Charakteristika čerpacího systému při regulaci škrcením výtlačku [4]	18
Obrázek 2.10 – Charakteristika čerpacího systému při regulaci obtokem [4]	19
Obrázek 2.11 – Charakteristika čerpacího systému při paralelním řazení [4]	19
Obrázek 2.12 – Charakteristika čerpacího systému při regulaci škrcením výtlačku [4]	20
Obrázek 2.13 – Charakteristika čerpacího systému při regulaci změnou otáček [4]	20
Obrázek 3.1 – Obrazovka vizualizace řídicího systému čerpací soustavy na strojovně [4]	22

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 – Referenční otáčky čerpadel s asynchronním elektropohonem [1]	17
Tabulka 3.1 – Štítkové hodnoty stávajících čerpadel M1, M2, M3	24
Tabulka 3.2 – Štítkové hodnoty motorů stávajících čerpadel M1, M2, M3	26
Tabulka 3.3 – Štítkové hodnoty stávajících frekvenčních měničů motorů čerpadel M1, M2, M3	26
Tabulka 3.4 – Štítkové hodnoty nových čerpadel M1 a M2	28
Tabulka 4.1 – Štítkové hodnoty motorů nových čerpadel M1 a M2	30
Tabulka 4.2 – Štítkové hodnoty nových frekvenčních měničů motorů čerpadel M1 a M2	31
Tabulka 4.3 – Hodnoty parametrizační sady frekvenčních měničů GW1 a GW2	32
Tabulka 4.4 – Nastavená frekvence měniče a jeho spotřeba pro čerpání v rozmezí 0÷138 l.s-1	43
Tabulka 4.5 – Nastavená frekvence měničů a jejich spotřeba pro čerpání v rozmezí 138÷186 l.s-1	43
Tabulka 4.6 – Nastavená frekvence měničů a jejich spotřeba pro čerpání v rozmezí 186÷220 l.s-1	44

SEZNAM GRAFŮ

Graf 2.1 – Rozdělení dodávky pitné vody na území města Ostravy	13
Graf 3.1 – Charakteristiky stávajícího čerpadla M1 při jmenovitých otáčkách [10]	24
Graf 3.2 – Charakteristiky stávajícího čerpadla M2 při jmenovitých otáčkách [11]	25
Graf 3.3 – Charakteristiky stávajícího čerpadla M3 při jmenovitých otáčkách [9]	25
Graf 3.4 – Charakteristiky nových čerpadel M1 a M2 při jmenovitých otáčkách [9]	29
Graf 4.1 – Charakteristika Q-H pro nová čerpadla M1 a M2 v pásmu řízeného kmitočtu	36
Graf 4.2 – Charakteristika Q-P pro nová čerpadla M1 a M2 v pásmu řízeného kmitočtu	36
Graf 4.3 – Charakteristika Q-H pro stávající čerpadlo M3 v pásmu řízeného kmitočtu	37
Graf 4.4 – Charakteristika Q-P pro stávající čerpadlo M3 v pásmu řízeného kmitočtu	37
Graf 4.5 – Charakteristika Q-f pro čerpadla M1 a M2 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m	38
Graf 4.6 – Charakteristika Q-otáčky pro čerpadla M1 a M2 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m	39
Graf 4.7 – Charakteristika Q-P pro čerpadla M1 a M2 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m	40
Graf 4.8 – Charakteristika spotřeby elektrické energie pro čerpadla M1 a M2 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m	40
Graf 4.9 – Charakteristika Q-f pro čerpadlo M3 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m	41
Graf 4.10 – Charakteristika Q-otáčky pro čerpadlo M3 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m	41
Graf 4.11 – Charakteristika Q-P pro čerpadlo M3 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m	42
Graf 4.12 – Charakteristika spotřeby elektrické energie pro čerpadlo M3 při výšce hladiny ve vodojemu 3 m	42
Graf 4.13 – Charakteristika Q-f čerpadel v celém rozsahu čerpaného množství při výšce hladiny ve vodojemu 3 m	44
Graf 4.14 – Charakteristika Q-P čerpadel v celém rozsahu čerpaného množství při výšce hladiny ve vodojemu 3 m	45
Graf 4.15 – Charakteristika spotřeby elektrické energie čerpadel v celém rozsahu čerpaného množství při výšce hladiny ve vodojemu 3 m	45

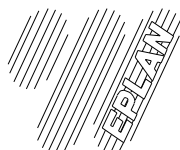
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Obvodová schémata

Příloha B – Přehledové schéma vazeb



VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA BÁŇSKÁ
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky 430
17. listopadu 15
708 33 Ostrava - Poruba



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh řízení čerpací stanice pitné vody

Design of water pump station controlling

NÁZEV PŘÍLOHY

Obvodová schémata

ČÍSLO PŘÍLOHY

A

STUDENT

Bc. Petr Endryáš

VEDOUCÍ PRÁCE

prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.

DATUM 9.4.2016
POČET STRAN 14

					DATUM	9.4.2016
					STUDENT	Bc. Petr Endryáš
REV	DATUM	KRESLIL	KONTROL	SCHVÁLIL	VEDOUCÍ PRÁCE	prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.

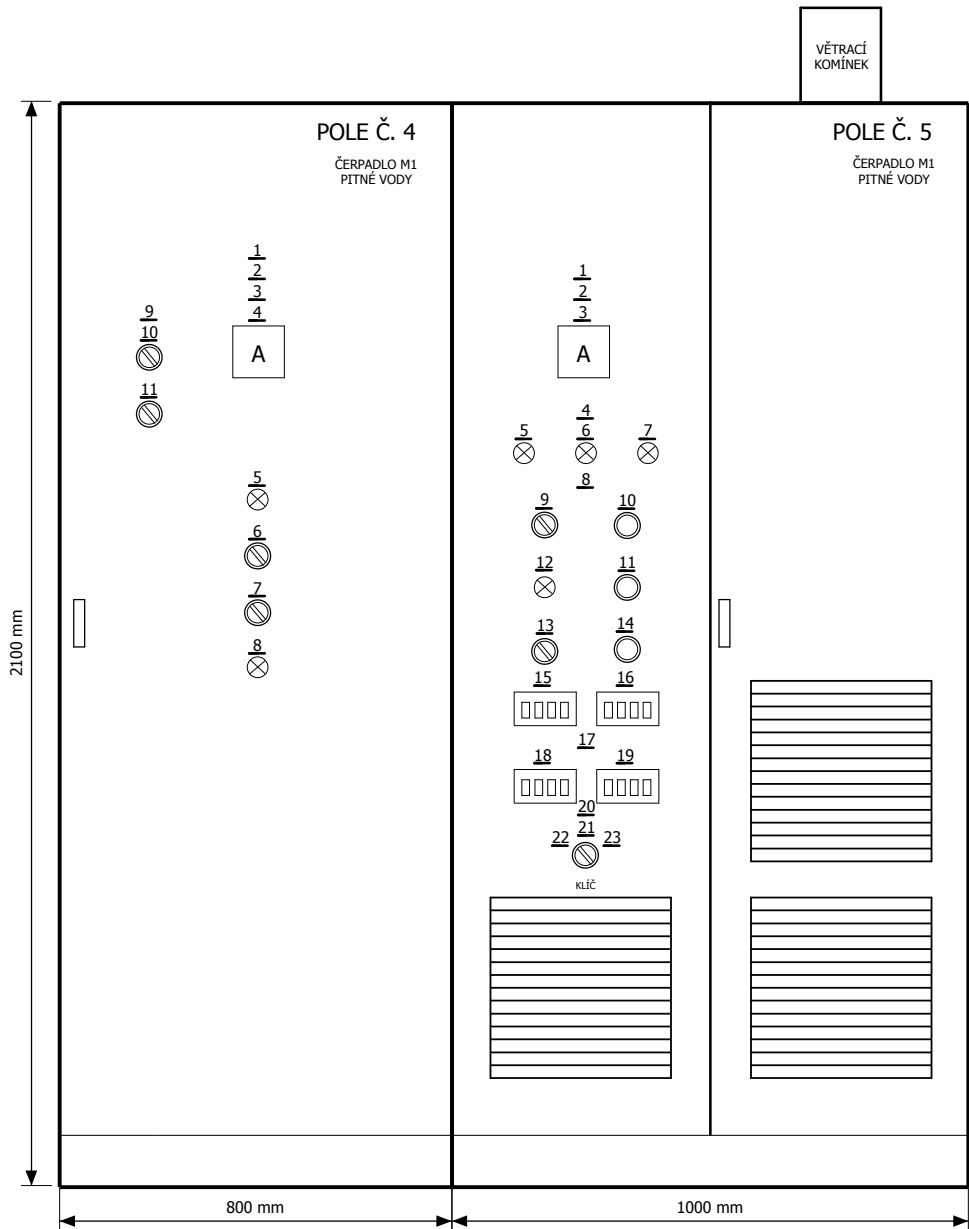
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh řízení čerpací stanice pitné vody
Design of water pump station controlling



TITULNÍ STRANA

A	=	
Obvodová schémata	+	LIST 1

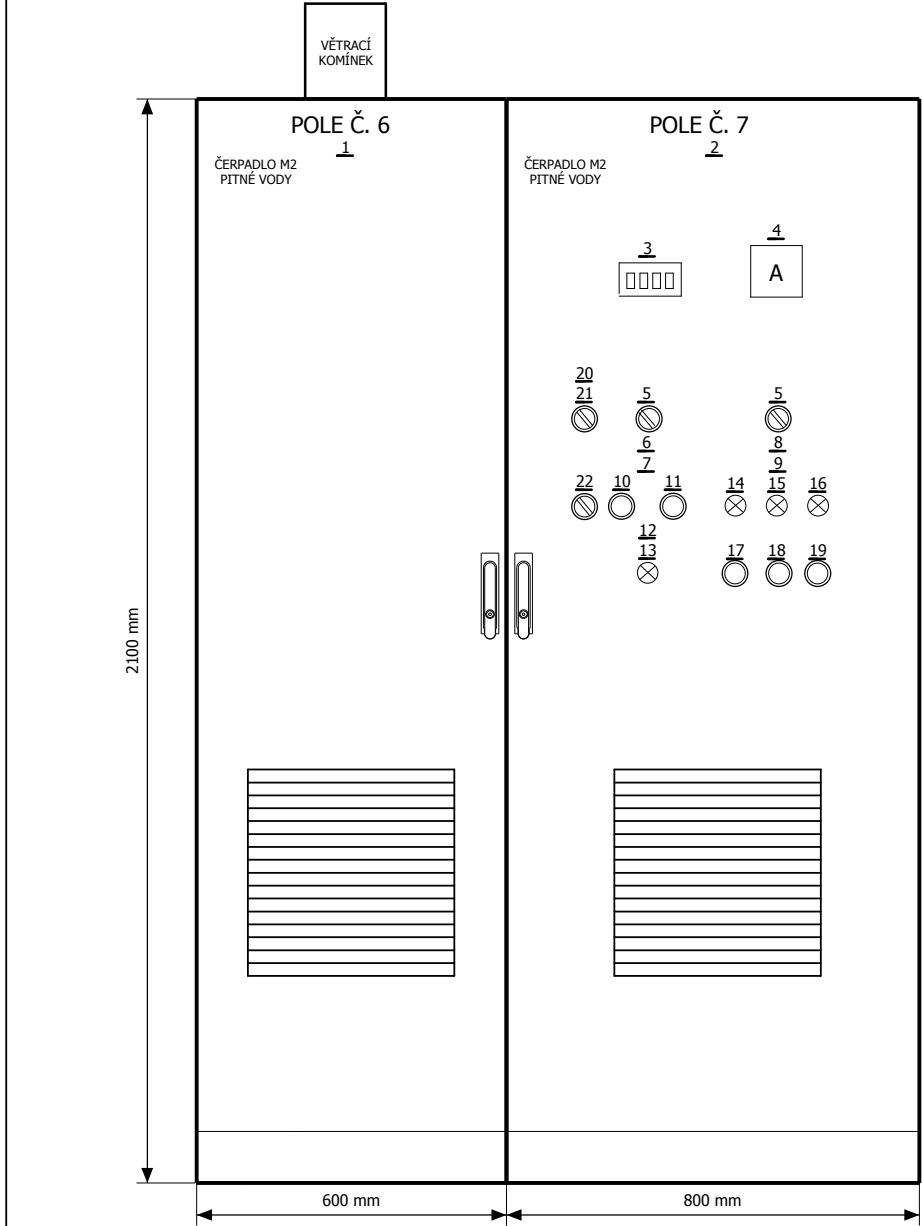


POLE 4

POZICE	NÁPIS NA ŠTÍTKU	PŘÍSTROJ
1	HORNÍ ČERPADLO	
2	(ČISTÁ VODA)	
3	M1 PŘES Y/D	
4	M1	-PA1
5	CHOD M1 - Y/D	-HL1.1
6	VOLBA OVLÁDÁNÍ RUČ - 0 - AUT	-SA1.1
7	RUČNÍ OVLÁDÁNÍ M1 VYP - ZAP	-SA1.2
8	REZERVA	-SA3
9	VENTIL EVAKUACE M41	
10	R - 0 - A	-SA41.1
11	OTV - ZAV	-SA41.2

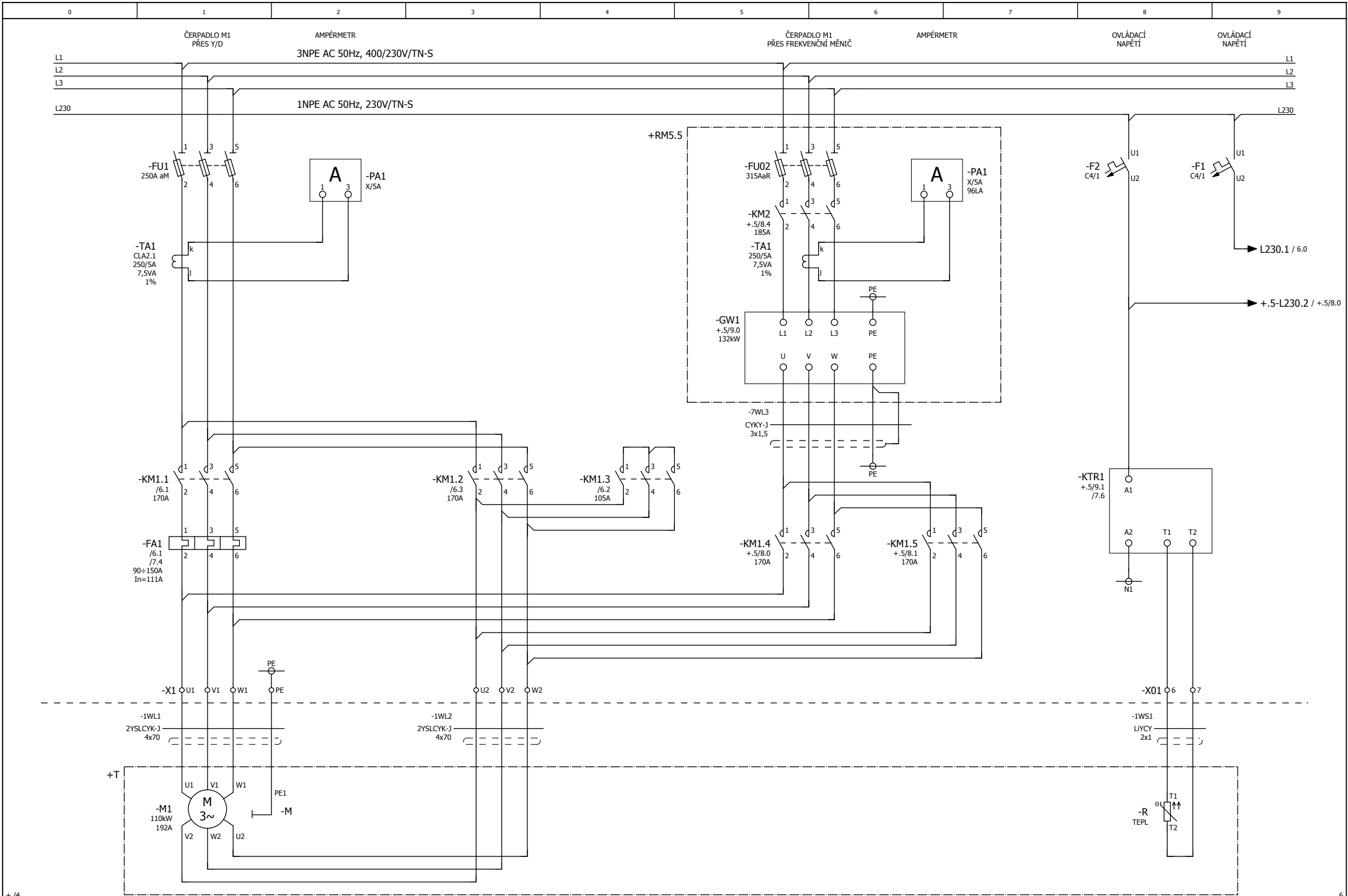
POLE 5

POZICE	NÁPIS NA ŠTÍTKU	PŘÍSTROJ
1	HORNÍ ČERPADLA	
2	(ČISTÁ VODA)	
3	M1 PŘES MĚNIČ	-PA2
4	MĚNIČ FREKVENCE	
5	CHOD - M1	-HL2.1
6	MĚNIČ RUČNĚ	-HL
7	PORUCHA	-HL2.3
8	RUČNÍ OVLÁDÁNÍ MĚNIČE	
9	VOLBA PROVOZU RUČ - 0 - AUT	-SA2.1
10	RUČNĚ OTÁČKY - VÍCE	-SB1.1
11	MÉNĚ	-SB1.2
12	SIGNALIZACE POVELU DÁLKOVĚ ZAPNUTO	-HL
13	RUČNĚ VYP - ZAP	-SA2.2
14	RESET	-SB1.3
15	PRŮTOK ČISTÉ VODY	-HD1
16	FREKVENCE	-HD6
17	HLADINA VE VODOJEMU	
18	LEVÁ ČÁST	-HD2
19	PRAVÁ ČÁST	-HD3
20	PROVOZ ČERPADEL NA	-SA2.3
21	OBĚ ČÁSTI	-SB1
22	LEVÁ ČÁST	-SB1
23	PRAVÁ ČÁST	-SB1



POLE 6 A 7

POZICE	NÁPIS NA ŠTÍTKU	PŘÍSTROJ
1	FR. MĚNIČ PRO M2	
2	Y/D PRO M2	
3	FREKVENCE MĚNIČE Hz	-A1
4	ČERPADLO M2	-PA01
5	RUČ - 0 - AUT	-SA2
6	OVLÁDÁNÍ MĚNIČE	
7	1	
8	OVLÁDÁNÍ M2	
9	2	
10	MÉNĚ	-SB03
11	VÍCE	-SB02
12	OVLÁDÁNÍ FREKVENCE	
13	MĚNIČ PŘIPRAVEN	-HL01
14	CHOD M2 MĚNIČ	-HL02
15	PORUCHA	-HL2.0
16	CHOD M2 Y/D	-HL2.2
17	ZAP. M2 MĚNIČ	-SB21
18	STOP	-SB20
19	ZAP. M2 Y/D	-SB22
20	VENTIL EVAKUACE M42	
21	R - 0 - A	-SA42.1
22	OTV - ZAV	-SA42.2





M1
ZAPNÍ Y/D

M1 ZAP/VYP
PŘES MĚNIČ

MĚNIČ ZAP/VYP
ZADÁNÍ CHODU

M1-Y

M1-D
NADPROUDOVÉ
RELÉ M1
(PŘI Y/D)

M1 PŘIPOJEN
PŘES MĚNIČ

M1-OVL.
ŘS
PŘES Y/D

TERMISTORY
M1

MĚNIČ GW2
PŘIPOJEN

MĚNIČ GW2
ZAPNUT
tj.CHOD M1

PORUCHA
MĚNIČE
(BLIKNE
PŘI
ZAPÍNÁNÍ)

MĚNIČ GW2
OVL.Z ŘS

+RB2

-DO1
ET200S
4xDO

-DI2
ET200S
4xDI

-DI3
ET200S
4xDI

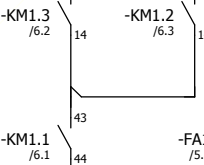
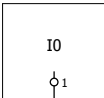
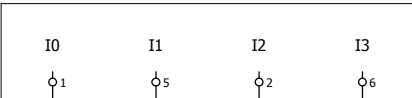
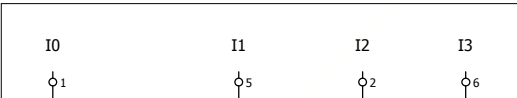
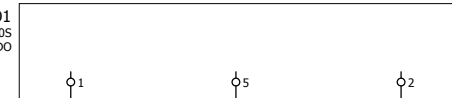
-DI4
ET200S
4xDI

-N1 2

-WD54
JYTY-D
19x1

-XP 75

-XF3
100mA



+RM5.5

+RM5.5

14 11 /6.2
24 21 /6.3

14 11 +.5/8.2
24 21 +.5/8.2
34 31 +.5/8.4
44 41 +.5/8.5

14 11 +.5/9.6

					DATUM	9.4.2016
					STUDENT	Bc. Petr Endryáš
REV	DATUM	KRESLIL	KONTROL	SCHVÁLIL	VEDOUCÍ PRÁCE	prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.

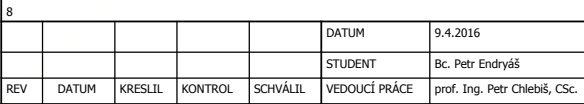
DIPLOMOVÁ PRÁCE

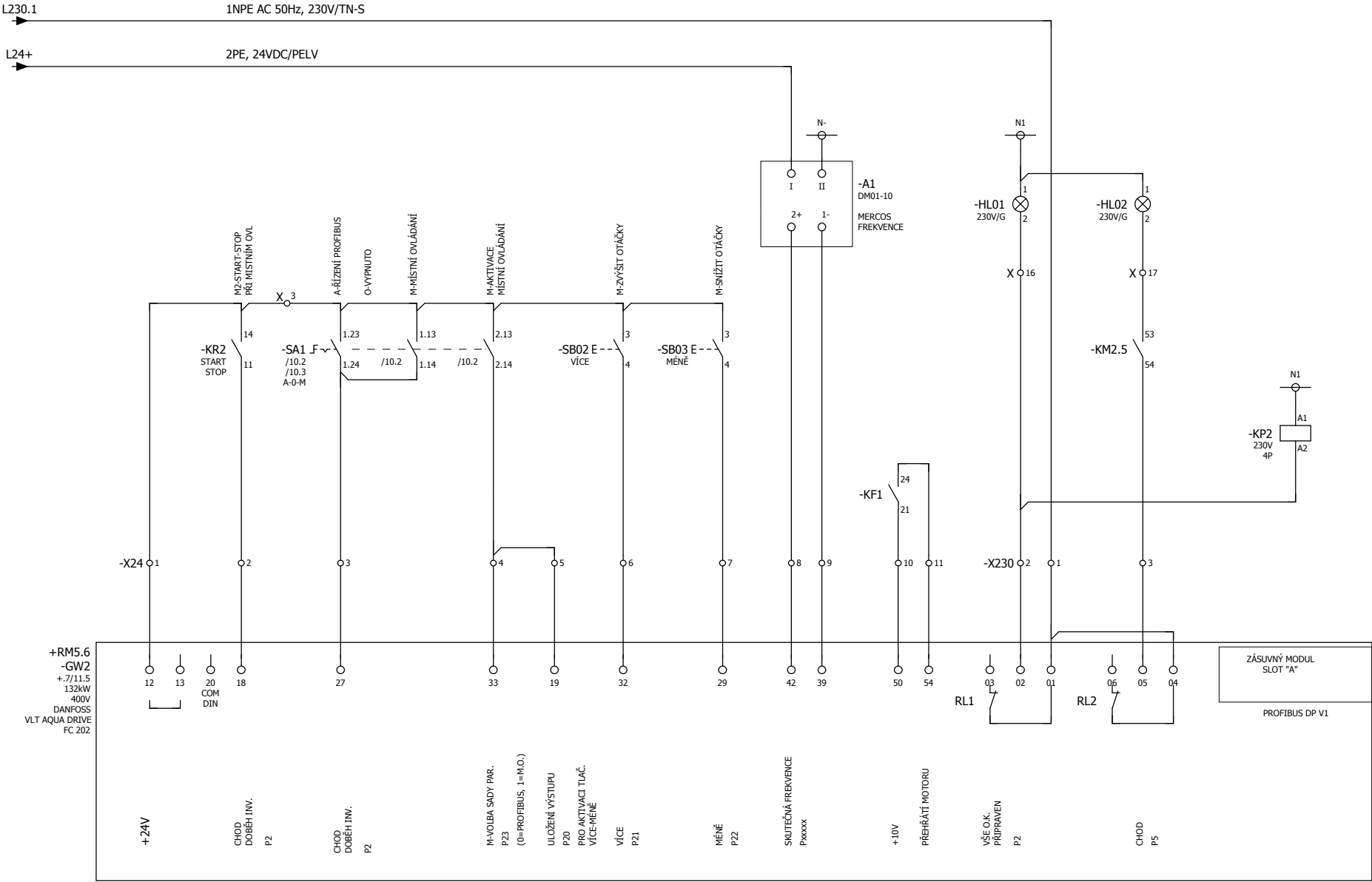
Návrh řízení čerpací stanice pitné vody
Design of water pump station controlling



ČERPADLO M1
PŘIPOJENÍ NA ŘS

A	=	
Obvodová schémata	+ RM5.4	LIST 7





					DATUM	9.4.2016
					STUDENT	Bc. Petr Endryáš
REV	DATUM	KRESLIL	KONTROL	SCHVÁLIL	VEDOUCÍ PRÁCE	prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh řízení čerpací stanice pitné vody
Design of water pump station controlling

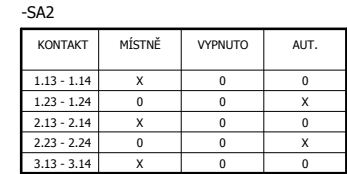


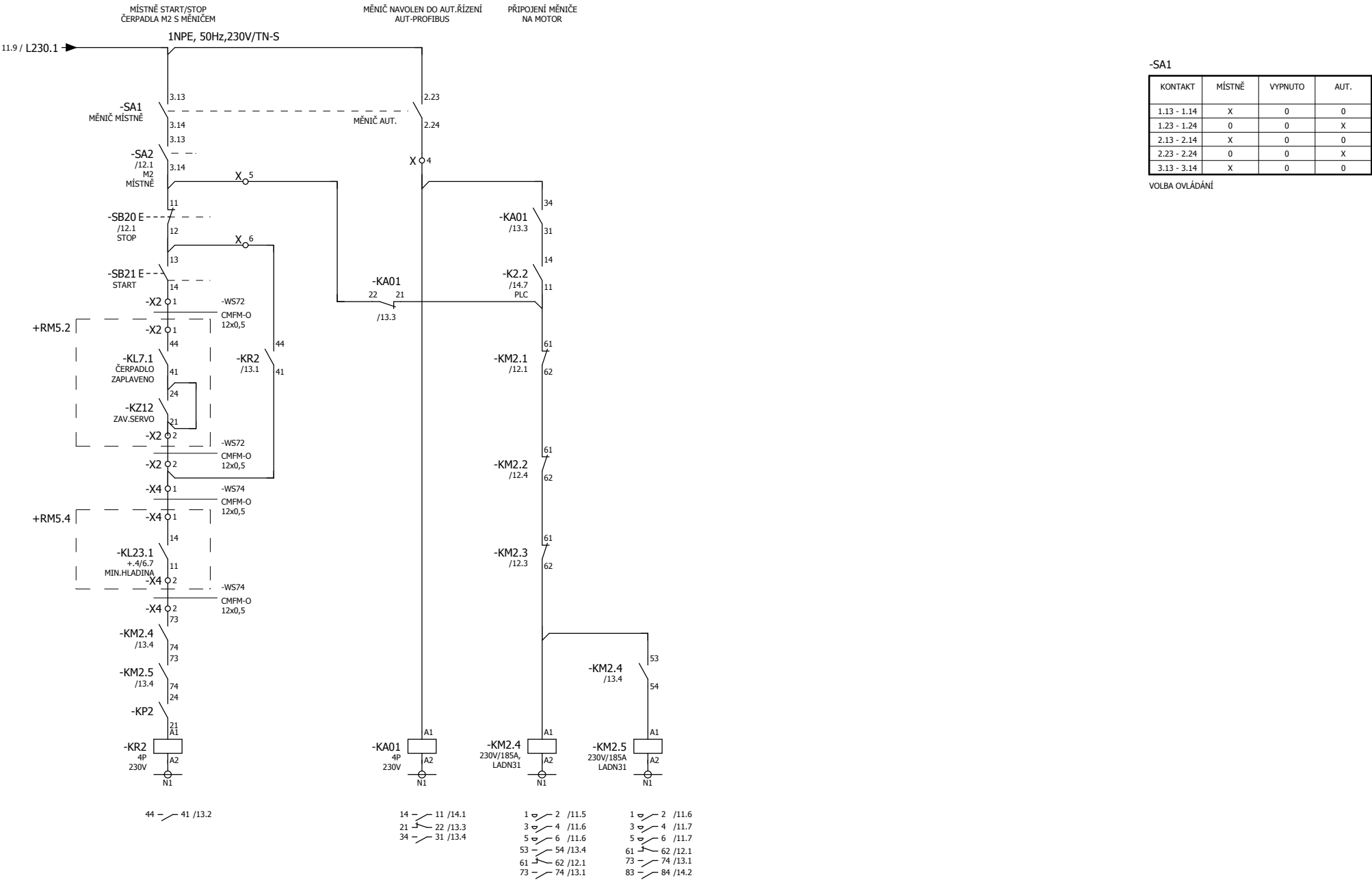
MĚNIČ GW2
OVLÁDÁNÍ

A	=		
Obvodová schémata	+ RM5.6	LIST	10



A	=	
Obvodová schémata	+ RM5.7	LIST 11





FR. MĚNIČ
PRO ČERPADLO
M2
PITNÉ VODY
NAVOLEN AUT

ČERPADLO M2
PITNÉ VODY
PŘIPOJENO
NA MĚNIČ

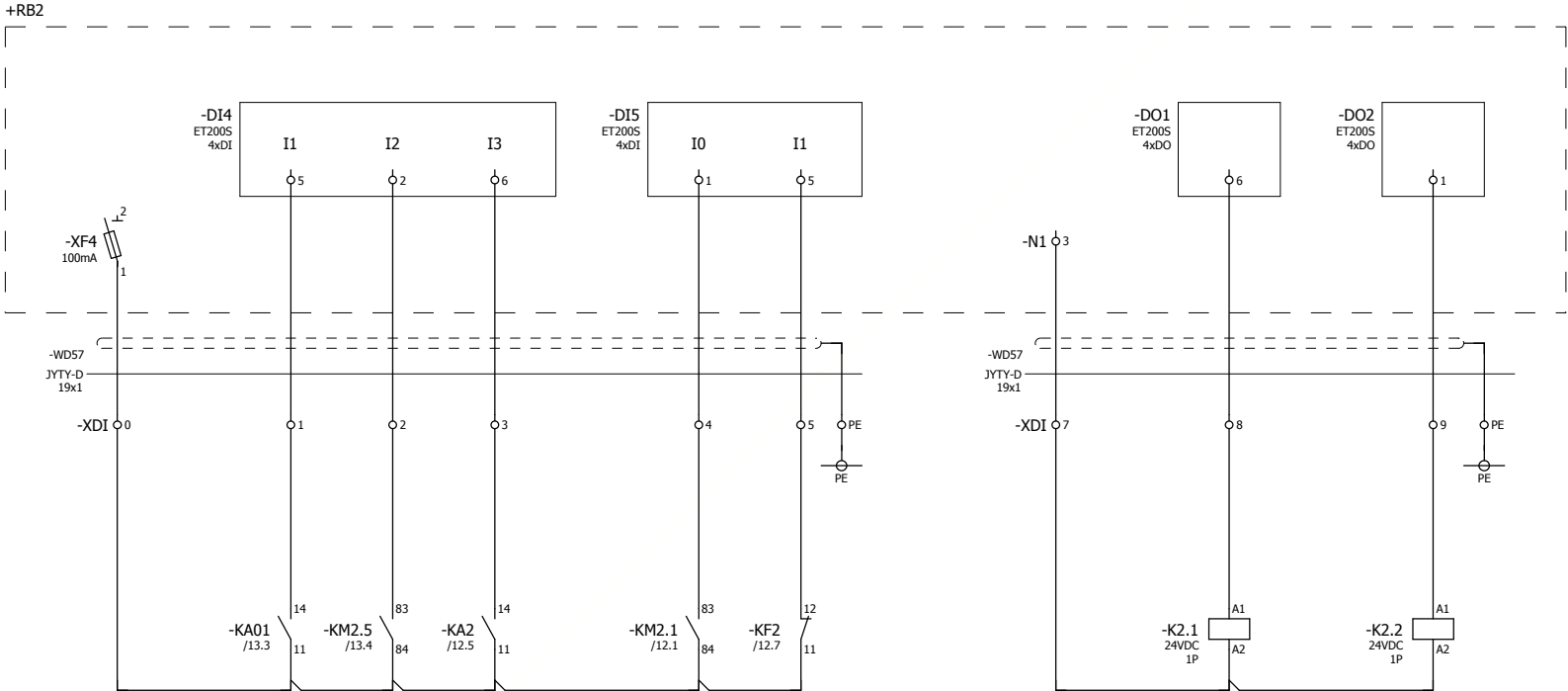
ČERPADLO M2
PITNÉ VODY
NAVOLEN AUT

ČERPADLO M2
PITNÉ VODY
CHOD "Y/D"

ČERPADLO M2
PITNÉ VODY
PORUCHA

ZAPNI ČERPADLO
M2
SPOUŠTĚČEM "Y/D"

PŘIPOJ ČERPADLO
M2
MA MĚNIČ



14 — 11 /12.3 14 — 11 /13.4

13					DATUM	9.4.2016
					STUDENT	Bc. Petr Endryáš
REV	DATUM	KRESLIL	KONTROL	SCHVÁLIL	VEDOUČÍ PRÁCE	prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

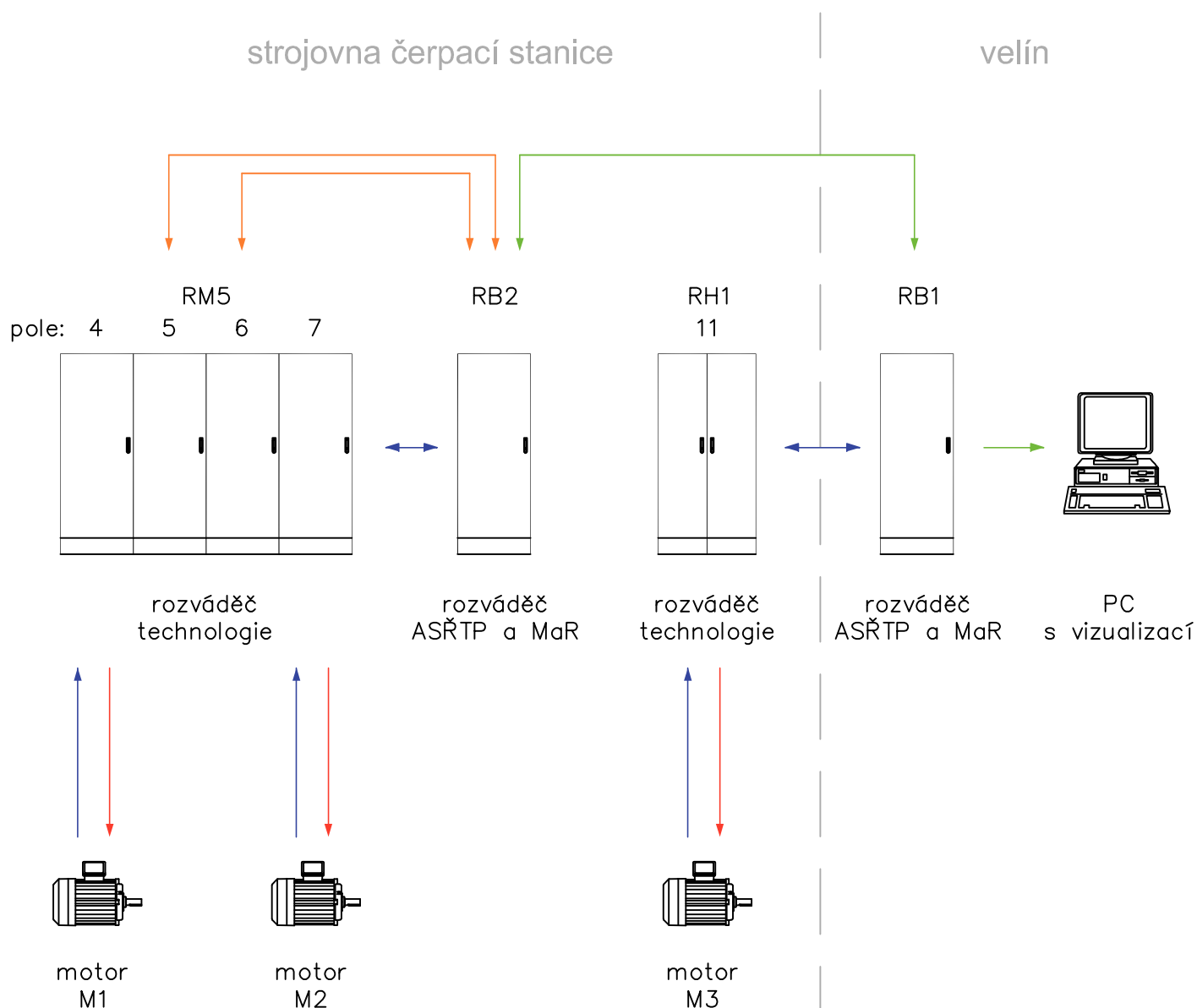
Návrh řízení čerpací stanice pitné vody

Design of water pump station controlling



ČERPADLO M2
PŘIPOJENÍ NA ŘS

A	=	
Obvodová schémata	+ RM5.7	LIST 14



LEGENDA:

- napájení
- signalizace, ovládání
- ethernet
- sběrnice profibus

DIPLOMOVÁ PRÁCE			
Návrh řízení čerpací stanice pitné vody Design of water pump station controlling			
NÁZEV PŘÍLOHY:	PŘEHLEDOVÉ SCHÉMA VAZEB		
STUDENT:	Bc. Petr Endryáš		
VEDOUcí PRÁCE:	prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.		
MĚŘÍTKO:	1:1	FORMÁT:	A4
DATUM:	9.4.2016	ČÍSLO VÝKRESU:	B



VYSOKÁ ŠKOLA BAŇSKÁ
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky 430
17. listopadu 15
708 33 Ostrava – Poruba